

ЦСПА нового поколения

Выполненные разработки

- В 2007-2009 гг. ОАО «НИИПТ» по заказу и при участии ОАО «СО ЕЭС» выполнял ряд работ по ПАУ, в результате которых были разработаны:
- - алгоритм расчета оптимальных управляющих воздействий для адаптивной ЦСПА по условиям статической устойчивости послеаварийного режима и динамического перехода к нему с учетом тяжести короткого замыкания,
- - алгоритм мониторинга запасов устойчивости в исходном режиме для ПТК СМЗУ СРТО Филиала ОАО «СО ЕЭС» Тюменское РДУ,
- - макетный образец вычислительного комплекса ПТК ЦСПА,
- - алгоритм локальной автоматики ликвидации колебательных процессов в энергосистемах,
- - алгоритмы обработки измерений режимных параметров электростанции (подстанции) и примыкающих ВЛ для локальных устройств ПА (ЛПА),

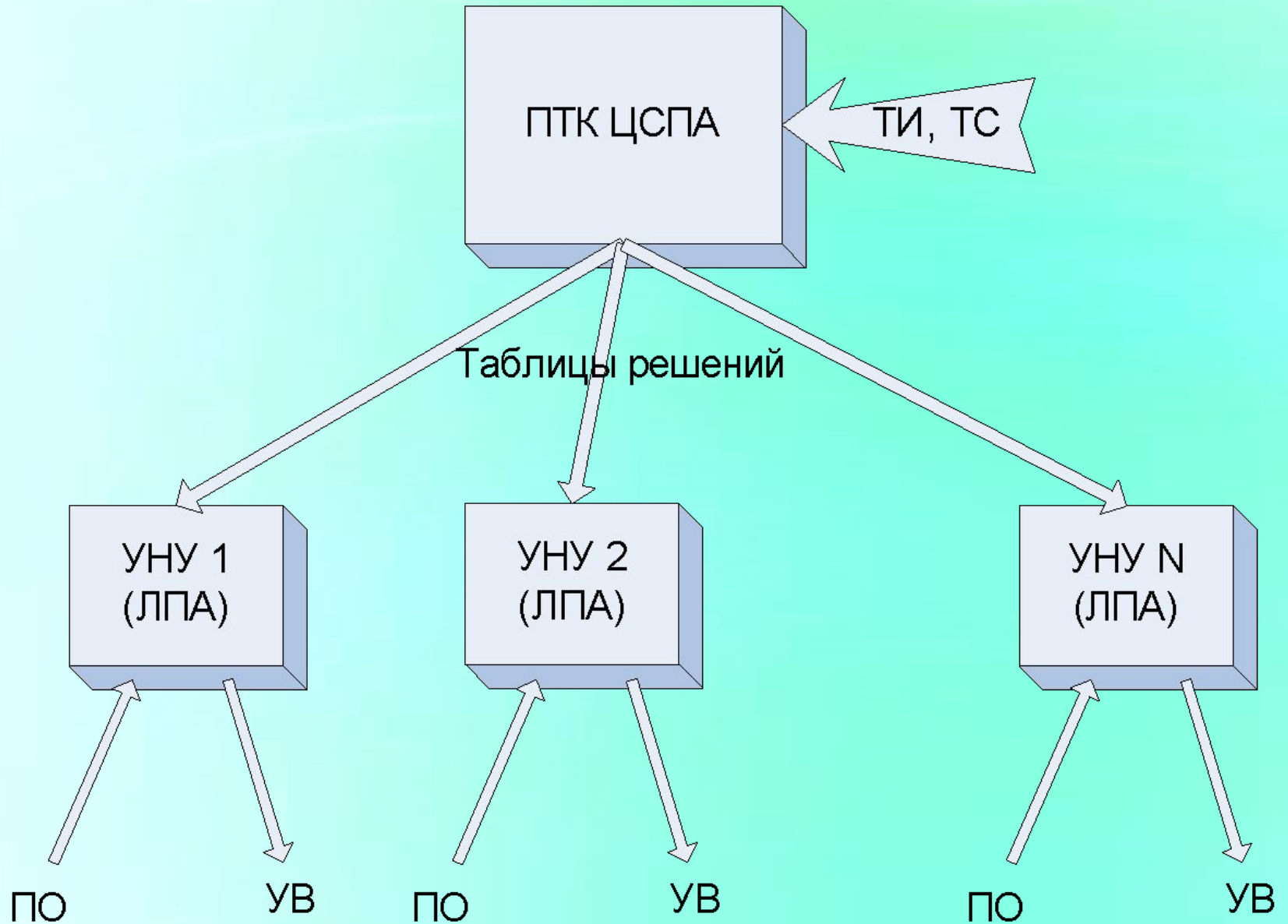
Цели и задачи ЦСПА нового поколения

Основная цель разработки ЦСПА нового поколения – повышение точности и сокращение избыточности управляющих воздействий (снижение ущерба) и расширение области допустимых режимов работы энергосистемы при ограниченном объеме УВ.

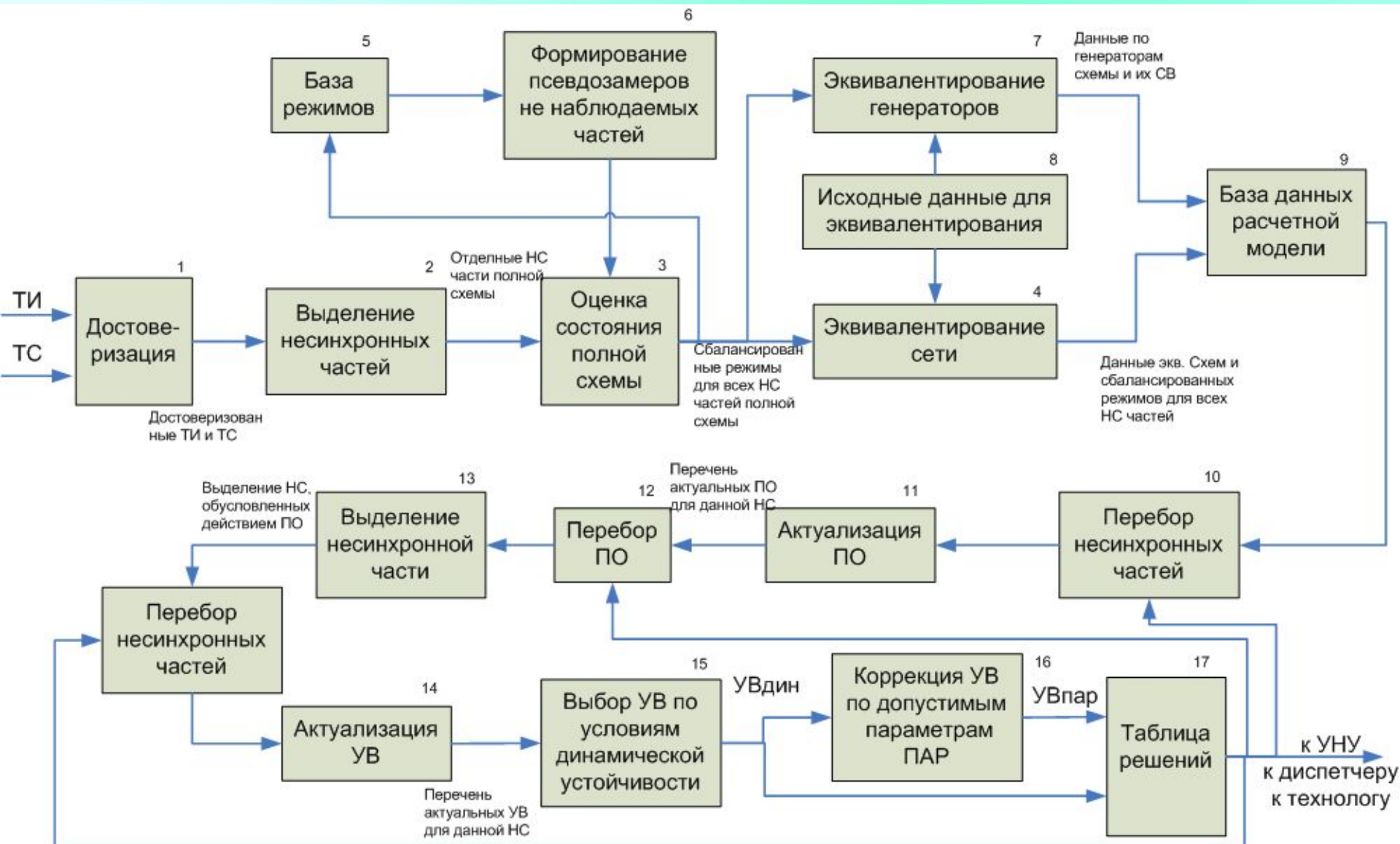
Задачи, для достижения указанной цели, - это :

- **Разработка универсальных алгоритмов расчета УВ по условиям статической и динамической устойчивости с учетом:**
 - **нормативных запасов устойчивости по активной мощности и напряжению и ограничений по токовой загрузке элементов сети,**
 - **динамической составляющей аварийных процессов, обусловленной как короткими замыканиями, так и действиями линейной автоматики для локализации аварийного возмущения (АПВ) на базе**
- **подробных (общепринятых) моделей основных элементов и средств регулирования и автоматики энергосистем.**
- **При этом должны быть расширены наборы:**
 - **УВ (отключение генераторов, отключение нагрузки, импульсная разгрузка турбин, длительная разгрузка турбин, электрическое торможение генераторов и др.) и**
 - **аварийных возмущений (отключение линии, короткое замыкание, повторное включение линии, отключение фазы линии с последующим повторным включением, отключение генераторов, отключение/подключение нагрузок) с**

Структура ЦСПА



Общая функциональная схема технологического алгоритма ЦСПА



Функциональная схема алгоритма выбора УВ по условиям динамической устойчивости



Модели

| | |
|-----------------------------|---|
| Генераторы | <p>Полными уравнениями с АРВ и СВ без моделей турбин. Возможно задание E за X.</p> <p>В дальнейшем – модели турбин (упрощенные) с АРС</p> |
| Нагрузки | <p>Статическими характеристиками и синхронными двигателями.</p> <p>В дальнейшем для ограниченного числа нагрузок – асинхронный двигатель + шунт.</p> |
| Аварийные возмущения | <p>Изменение (отключение) генераторов, изменение нагрузок, включение/отключение шунтов в узлах (КЗ), отключение ветвей.</p> <p>В дальнейшем – весь «джентльменский» набор</p> |
| УВ | <p>Изменение генераторов, отключение генераторов, изменение нагрузок, электрическое торможение.</p> <p>Учет запаздывания на ввод УВ.</p> <p>В дальнейшем – импульсная разгрузка</p> |

Двухмашинный эквивалент неустойчивого процесса

$$Mj_{\partial 1} \cdot \frac{ds_{\partial 1}}{dt} = Mm_{\partial 1} - Me_{\partial 1} \quad Mj_{\partial 2} \cdot \frac{ds_{\partial 2}}{dt} = Mm_{\partial 2} - Me_{\partial 2}$$

$$Mj_{\partial 1} = \sum_{k=1}^{n1} Mj_k, \quad Mj_{\partial 2} = \sum_{k=n1+1}^{N_{SM}} Mj_k$$

$$s_{\partial 1} = \frac{\sum_{k=1}^{n1} Mj_k \cdot s_k}{Mj_{\partial 1}}, \quad s_{\partial 2} = \frac{\sum_{k=n1+1}^{N_{SM}} Mj_k \cdot s_k}{Mj_{\partial 2}}$$

$$Mm_{\partial 1} = \sum_{k=1}^{n1} Mm_k, \quad Mm_{\partial 2} = \sum_{k=n1+1}^{N_{SM}} Mm_k$$

$$Me_{\partial 1} = \sum_{k=1}^{n1} Me_k, \quad Me_{\partial 2} = \sum_{k=n1+1}^{N_{SM}} Me_k$$

Уравнение относительного движения двухмашинного эквивалента

$$Mj_o \cdot \frac{ds_o}{dt} = Mm_o - Me_o$$

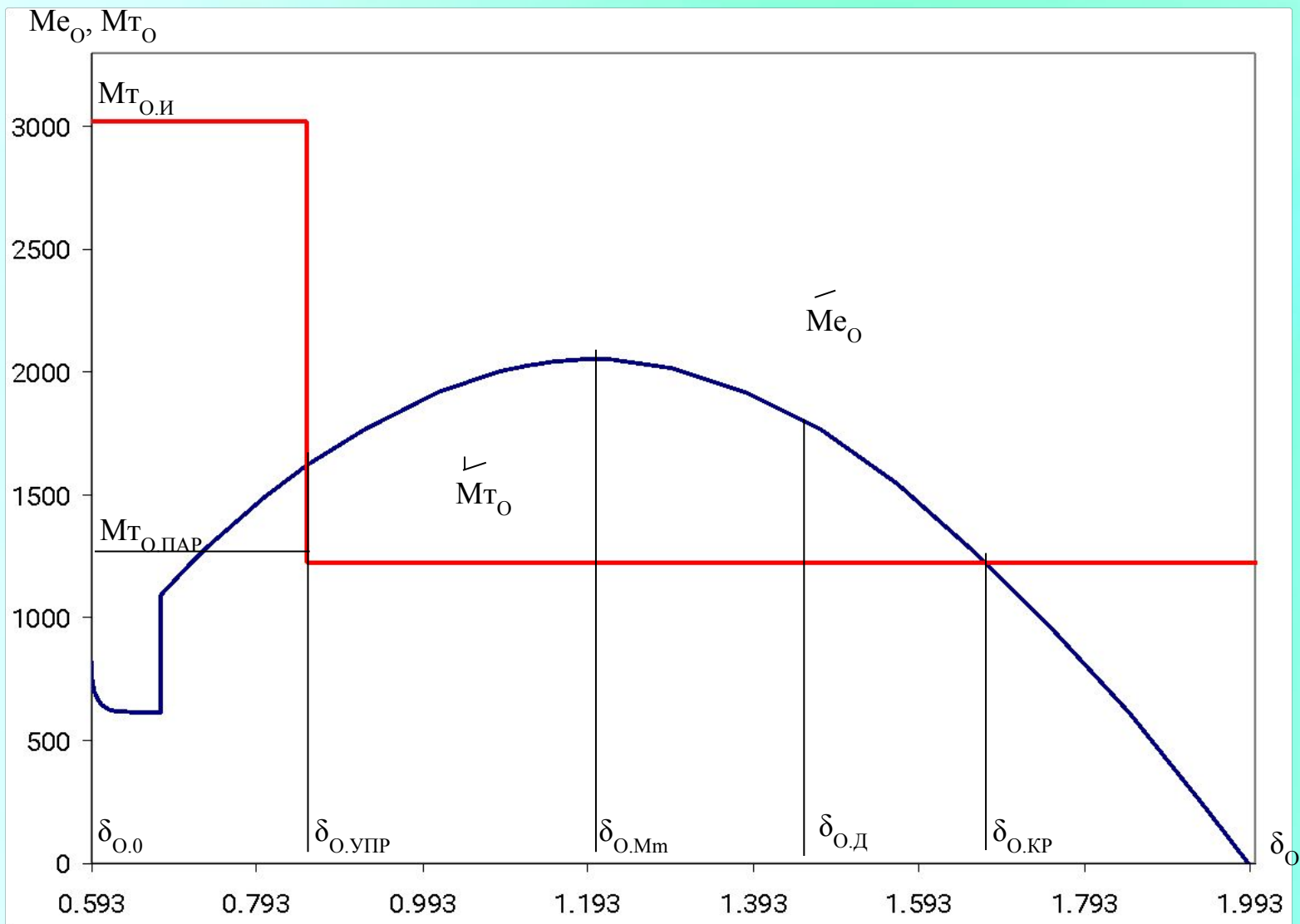
$$s_o = s_{\partial 1} - s_{\partial 2} \quad \delta_o = \delta_{\partial 1} - \delta_{\partial 2}$$

$$Mj_o = \frac{Mj_{\partial 1} \cdot Mj_{\partial 2}}{Mj_{\partial 1} + Mj_{\partial 2}}$$

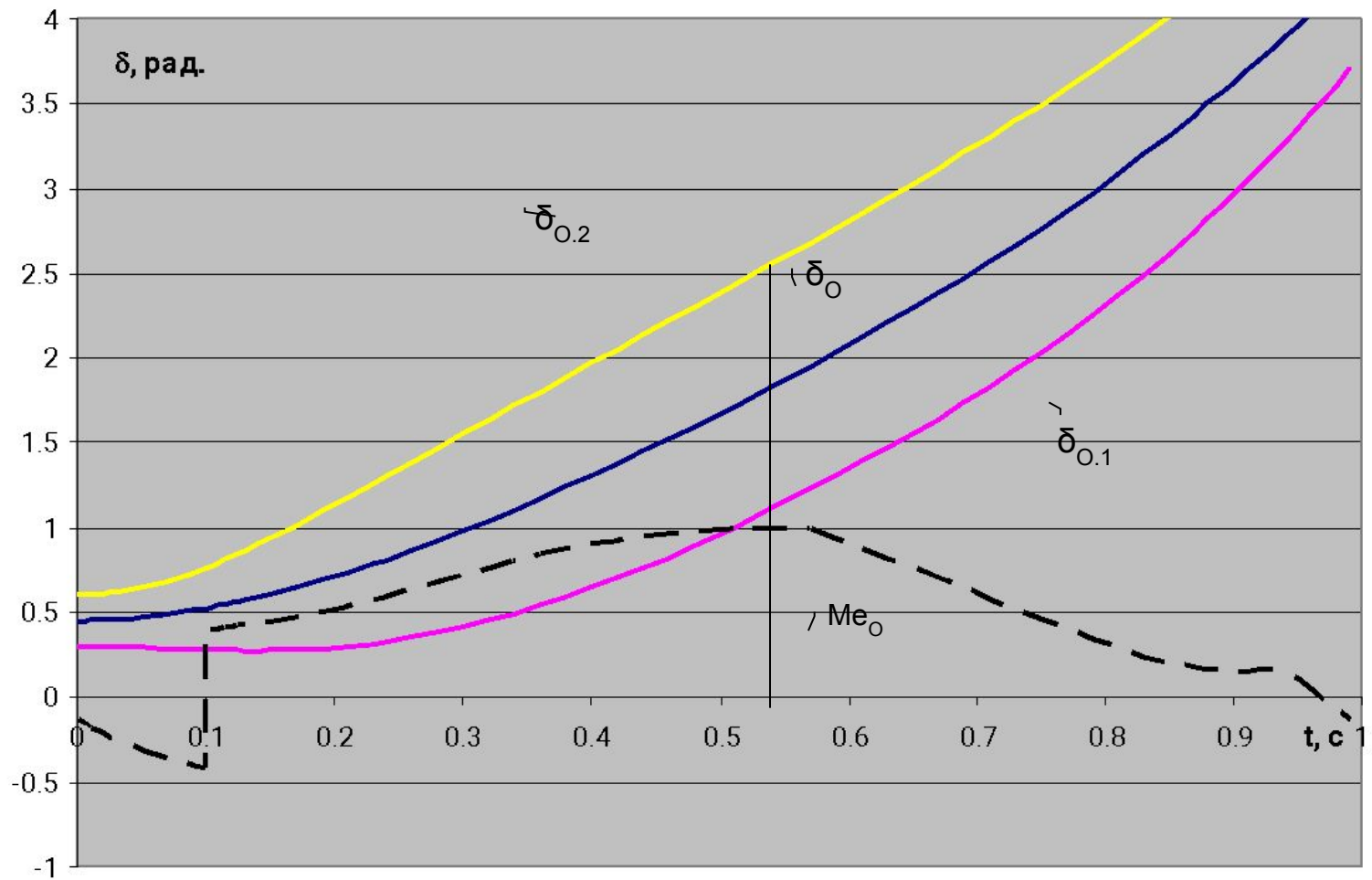
$$M_{T_o} = \frac{Mj_{\partial 2} \cdot M_{T_{\partial 1}} - Mj_{\partial 1} \cdot M_{T_{\partial 2}}}{Mj_{\partial 2} + Mj_{\partial 1}}$$

$$Me_o = \frac{Mj_{\partial 2} \cdot Me_{\partial 1} - Mj_{\partial 1} \cdot Me_{\partial 2}}{Mj_{\partial 2} + Mj_{\partial 1}}$$

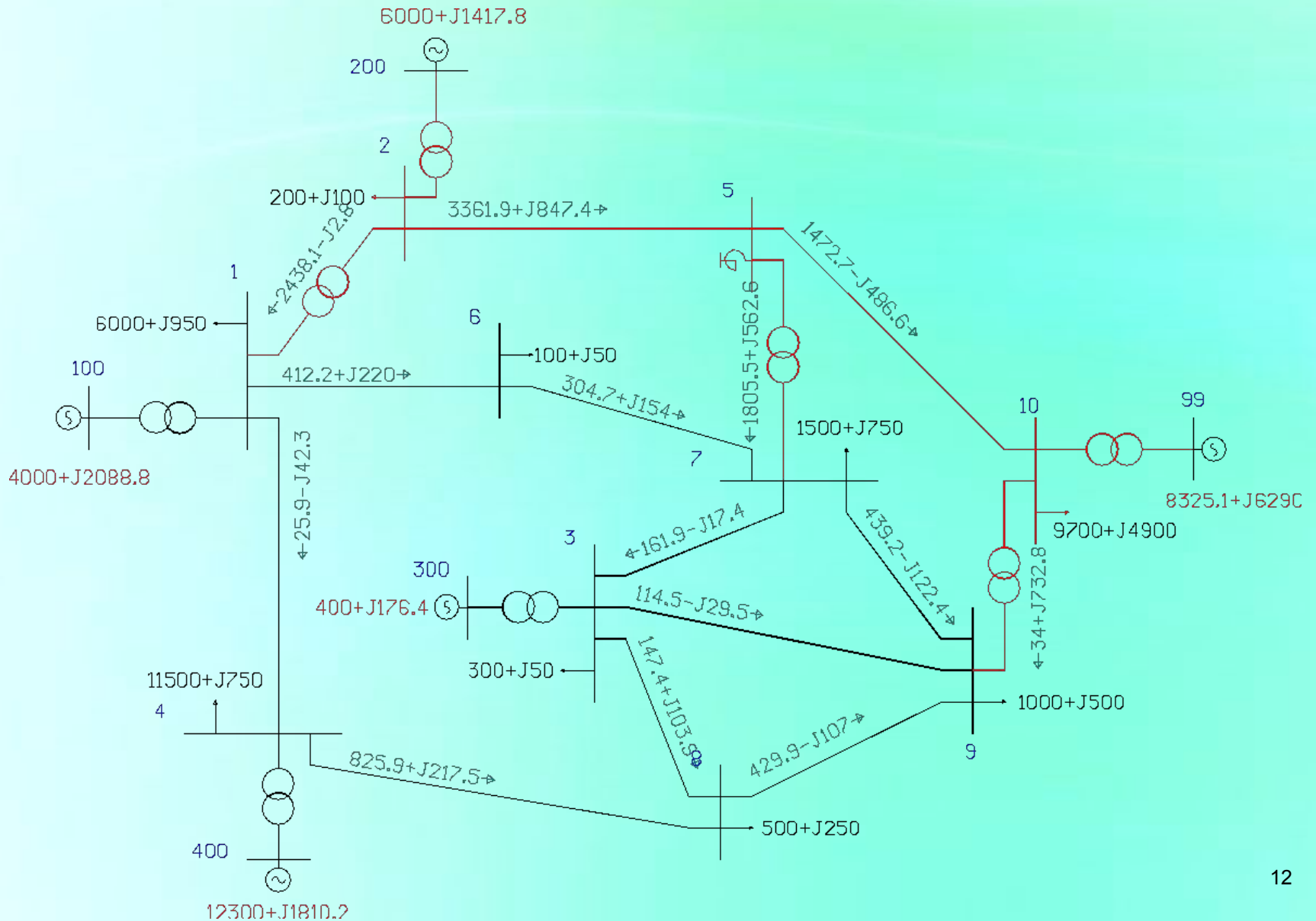
Выбор УВ для двухмашинного эквивалента по правилу площадей



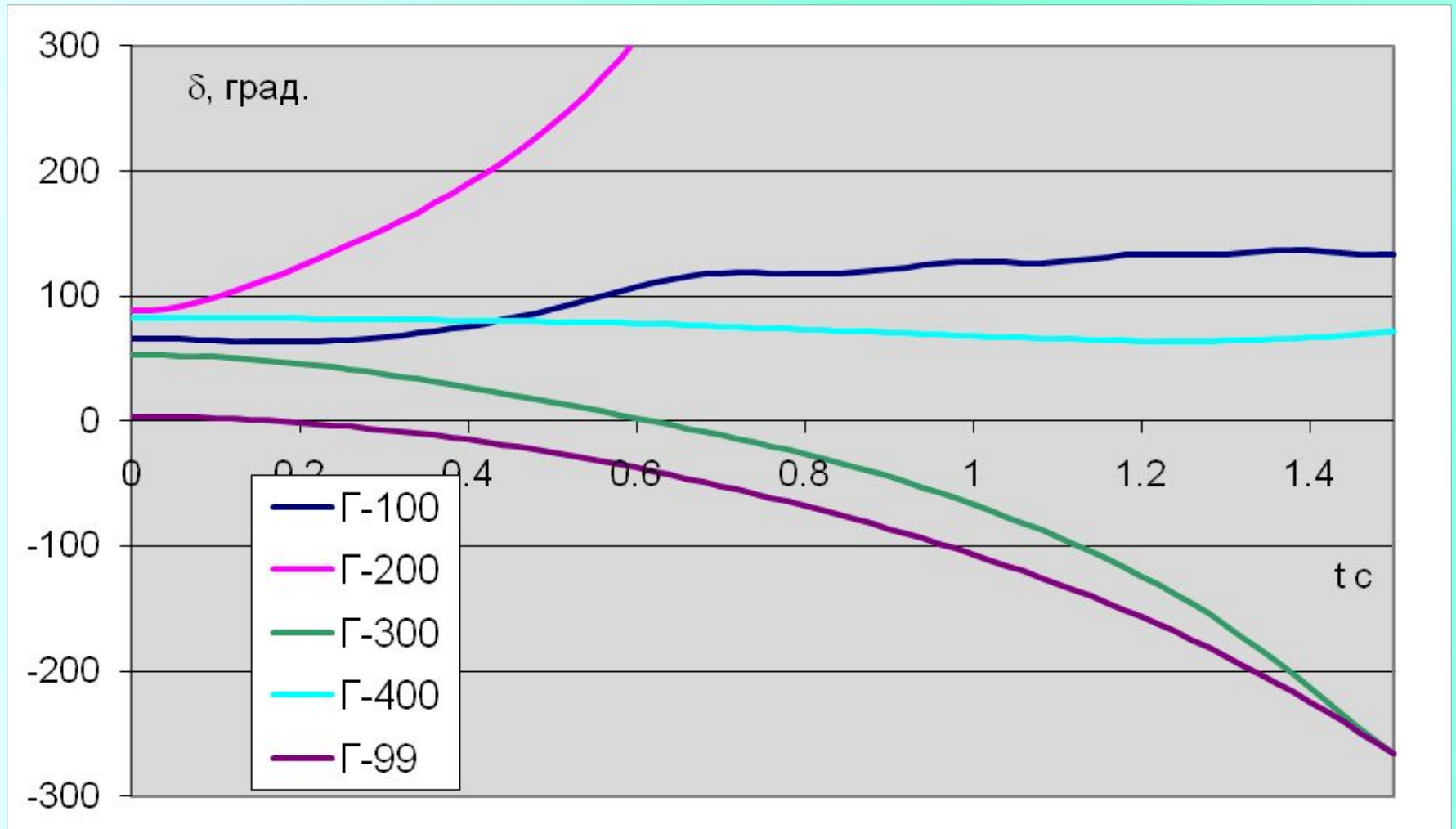
Распределение УВ между генераторами несинхронных частей



Тестовая схема



Изменение углов роторов генераторов при 3ф КЗ в узле 2 длительностью 0.1 с и отключении ВЛ 2 - 5



Результаты расчета управляющих воздействий

НАЧАЛО РАСЧЕТА

Режим - uz5g0.txt

Время ввода УВ - 0.15

Введены следующие данные о возмущениях

t = 0, Шунт в узле 2, R = 0, X = 1

t = 0.1, Отключение ветви 2 5 0

t = 0.1, Шунт в узле 2, R = 0, X = -1

Цикл 1 - Неустойчиво

Ветви аварийных сечений

| | |
|---|---|
| 2 | 1 |
|---|---|

разгрузка (отключение) генераторов

| |
|-----|
| 200 |
|-----|

| |
|--------|
| 3032.6 |
|--------|

отключение нагрузки

| | | |
|---|---|----|
| 3 | 7 | 10 |
|---|---|----|

| | | |
|--------|------|--------|
| 133.25 | 1200 | 1699.4 |
|--------|------|--------|

Цикл 2 - Переходный процесс устойчив

разгрузка (отключение) генераторов

| |
|-----|
| 200 |
|-----|

| |
|--------|
| 2426.1 |
|--------|

отключение нагрузки

| | |
|---|----|
| 7 | 10 |
|---|----|

| | |
|--------|--------|
| 1066.6 | 1359.5 |
|--------|--------|

Цикл 3 - Переходный процесс устойчив

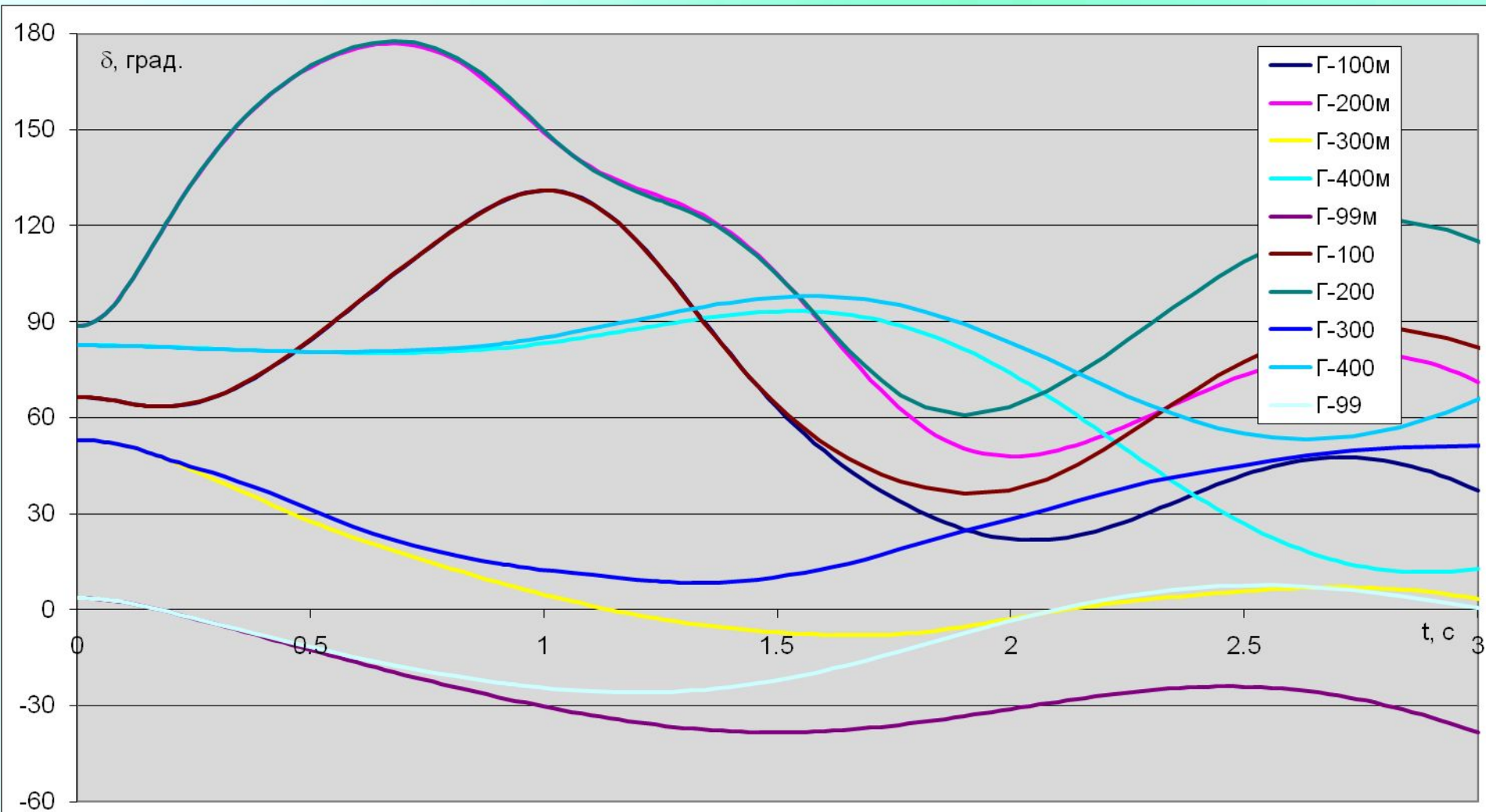
Управление выбрано

Количество циклов расчета - 3

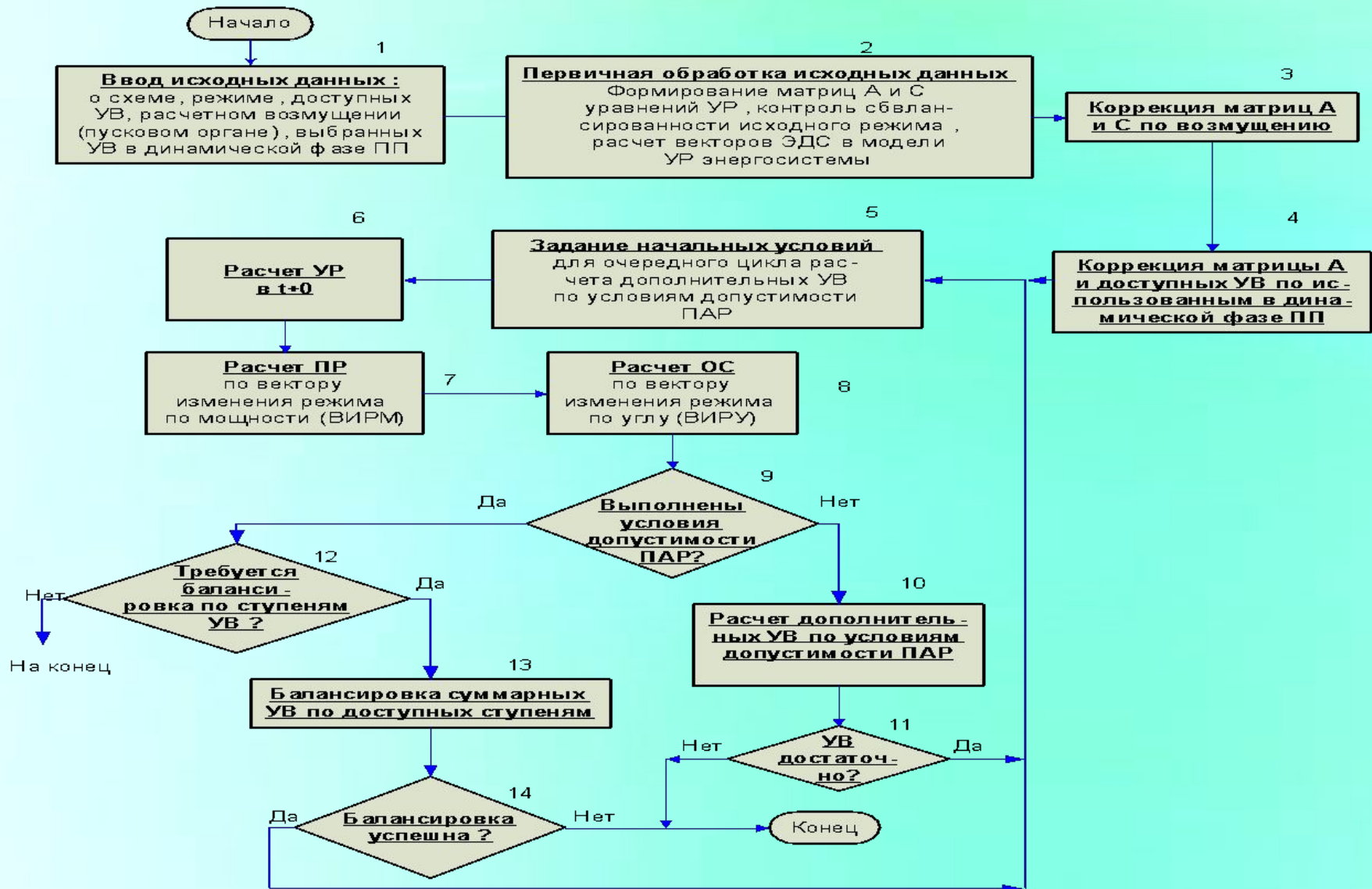
Суммарное ОГ - 2426.099

Суммарное ОН - 2426.099

Изменение углов роторов генераторов при 3ф КЗ в узле 2 длительностью 0.1 с, отключении ВЛ 2 – 5 и реализации выбранных управляющих воздействий



Функциональная схема алгоритма расчета УВ по условиям допустимости ПАР



Модели элементов энергосистемы в ПАР

| | |
|-----------------------------|--|
| Генераторы | <p>Е за X.</p> <p>Мощность (турбины) с учетом регулирующего эффекта по частоте K_{gf}</p> |
| Нагрузки | <p>Статическими характеристиками по напряжению и частоте (K_{nf})</p> |
| Аварийные возмущения | <p>Определяется блоком расчета динамической фазы переходного процесса</p> |
| УВ | <p>Изменение генераторов, отключение генераторов, изменение нагрузок</p> <p>Возможно отключение ветвей</p> |

Уравнения установившегося режима

- Уравнения баланса токов (УБТ) в узлах в комплексной форме:

$$A * U = B$$

- Уравнения изменения баланса активной мощности (УБМ) в узлах

$$C * \delta = D$$

УБТ предполагает задание векторов ЭДС (в B) и отдельно используется для определения опасного сечения (ОС)

УБМ предполагает задание небалансов активной мощности (в D , разница между требуемыми значениями генерации и потребления и расчетными, определяемыми путем решения УБТ)

Совместное решение УБТ и УБМ позволяет (итерационно) рассчитать требуемый установившийся режим (УР)

Этапы расчета предельного режима (ПР) и опасного сечения (ОС)

Исходный режим для расчета ПР – режим в $t+0$ (P_{t+0})

Разница между требуемыми значениями генерации и потребления в узлах схемы (P_{tr}) и их расчетными значениями в $t+0$ (P_{t+0}) определяет вектор утяжеления (изменения) режима в терминах мощности – ВИРМ

Утяжелением вдоль ВИРМ определяется ПАР и ПР

Исходный режим для расчета ОС – ПР

Разность углов векторов ЭДС в ПР и некотором допредельном режиме определяет ВИРУ

Утяжелением вдоль ВИРУ находятся и помечаются ветви, разность фаз напряжений по концам которых переходит через 90 эл. градусов ($V+$).

Совокупность ветвей $V+$ определяет искомое ОС

Выбор УВ по условиям допустимости ПАР

По данным ПР, ПАР и ОС вычисляются требуемые УВДр

Рассчитывается режим с допустимым запасом по активной мощности и соответствующим ему перетоком в ОС РДр

По линейной экстраполяции изменений режимных параметров в ПАР и в режиме с РДр оценивается режим, в котором нет недопустимых токовых перегрузок и пониженных уровней напряжения
Итерационно определяется искомый режим и соответствующий переток в ОС Рiu

Разность перетоков РДр и Рiu определяет дополнительные УВиu

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ