



Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах

БЕЛЯЕВ Андрей Николаевич, к.т.н, доцент

Кафедра «Электрические системы и сети», ЭлМФ, СПбГУ

Расчет динамической устойчивости трехмашинного эквивалента электроэнергетической системы на основе компьютерного моделирования

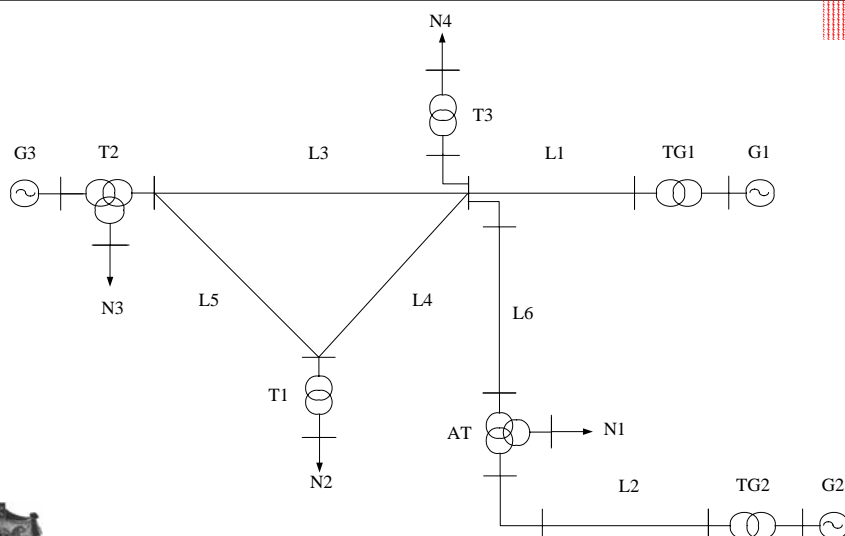
Основные разделы лекции

- + Задание параметров моделей элементов ЭЭС
- + Общие соображения моделирования ЭЭС без шин бесконечной мощности
- + Обеспечение нормального режима системы
- + Опыт короткого замыкания в заданном узле ЭЭС
- + Исследование по повышению уровня динамической устойчивости
- + Оформление результатов работы



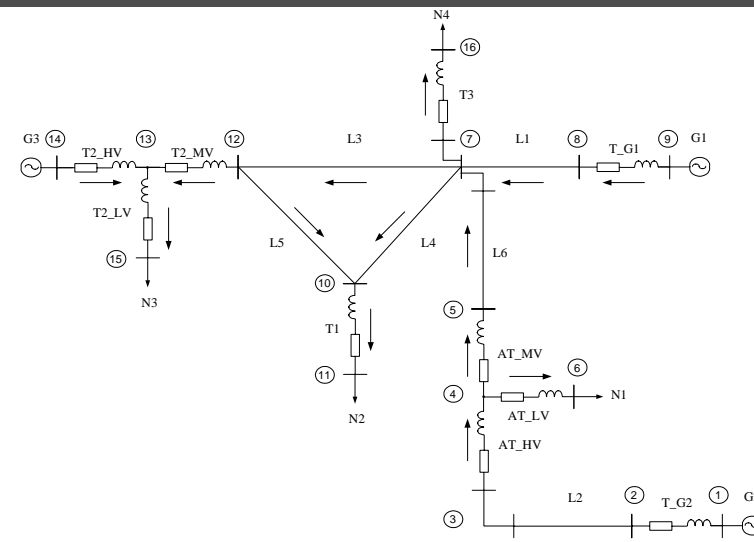
Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Расчетная схема ЭЭС



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Эквивалентная Dymola-модель



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Общие соображения по моделированию

- + Все расчеты выполняются в общих относительных единицах (например, $U_{\text{баз}} = 500 \text{ кВ}$, $S_{\text{баз}} = 1000 \text{ МВА}$)
- + Шины бесконечной мощности отсутствуют
- + Моделирование эквивалентной ЭЭС генератором, трансформатором и нагрузкой большой мощности ($S_{\text{кз}}$) – G3-T2-N3
- + Баланс мощностей образуется за счет регулирования мощностей турбин и рассчитываемых уровней напряжений в узлах
 - сумма генерации равна сумме потребления + потери
 - мощность статической нагрузки зависит от квадрата напряжения



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Модели элементов электроэнергетической системы

- + Синхронный генератор
 - регулятор возбуждения сильного действия
 - регулятор скорости вращения турбины
- + Линия электропередачи
- + Двухобмоточный трансформатор (или сторона трехобмоточного трансформатора)
- + Статическая нагрузка
- + Шунт короткого замыкания



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

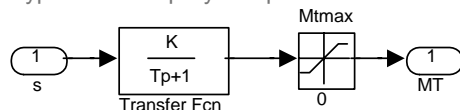
Синхронный генератор

- + Традиционный набор параметров СГ (в о.е. или сек.)

$$x_d \ x_q \ x_s \ x'_d \ x''_d \ x'_q \ x''_q \ r_f \ r_{rd} \ r_{rq} \ T_J$$

- + Регулирование мощности (скорости вращения) турбины

- структурная схема регулятора



- его математическое описание

$$\tau_c \frac{d\mu}{dt} = -\mu - \frac{s}{\sigma} + \mu_0, \quad M_T = \begin{cases} \mu, & \mu \geq 0; \\ 0, & \mu < 0. \end{cases}$$



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Рекомендации по заданию параметров СГ

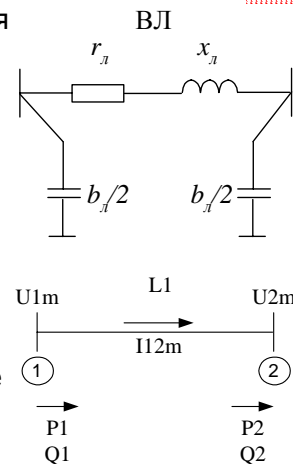
- + *Не пользоваться справочником Рокотяна!!!*
- + Методичка по лабораторным (ч.2, стр.18)
- + Экзотические случаи => профессор С.В.Смоловик
- + Параметры турбины не изменять
- + АРВ-СДП1: использовать только канал по отклонению напряжения ($K_{ou} = -10$)
- + Полезные графики (окно Plot)
 - механический момент турбины (M_{t_pp})
 - электромагнитная мощность генератора (M_e)
 - скольжение генератора (s)
 - напряжение на шинах генератора (U_{gen})
 - напряжение возбуждения (U_{f_full})



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Линия электропередачи

- + Традиционная П-схема замещения (r , x , b могут быть равны нулю)
- + В параметрах задается суммарное значение b_n
- + Полезные графики (Plot)
 - напряжения по концам
 - ток в линии
 - активная, реактивная мощности
- + Поток мощности по умолчанию
- + Если $P1 < 0$ ($P2 < 0$), то направление потока мощности противоположно принятому по умолчанию



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

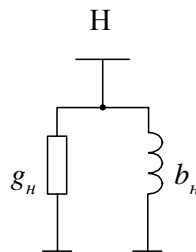
Трансформатор

- + Частный случай модели ЛЭП без поперечной емкостной проводимости
- + Если трансформатор двухобмоточный – один луч
- + Если трансформатор трехобмоточный – три луча (HV, MV, LV)
- + Значения активного и индуктивного сопротивления могут равняться нулю

Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Статическая нагрузка

- + Модель нагрузки в виде постоянной проводимости $G_n + jB_n$
- + Отрицательный B_n – индуктивная нагрузка
- + Полезные графики (Plot)
 - активная мощность нагрузки (P_n)
 - реактивная мощность нагрузки (Q_n)
- + Напряжения в конкретных узлах – из линий электропередачи



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Шунт короткого замыкания (1)

- + Для расчетов статической и динамической устойчивости короткое замыкание допустимо представлять шунтом
- + Номер шунта соответствует номеру узла на слайде 4
- + Частный случай статической нагрузки с $G_n = 0$
- + Значение проводимости шунта B_n соответствует уменьшению напряжения в узле при КЗ
- + Предельный случай $B_n = -\infty$ – трехфазное короткое замыкание с напряжением в узле равным нулю
- + При менее тяжелых (более реальных) коротких замыканиях величина шунта варьируется в диапазоне $B_n = -20 \dots -1$ о.е.

Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Шунт короткого замыкания (2)

- + Величина шунта рассчитана ранее
- + Включение шунта (TkzOn) производить не ранее момента времени 50 сек.
- + Длительность включения шунта (горение дуги) dTkzOn – основной результат данного этапа курсовой работы
- + Определять с точностью до второго-третьего ненулевого знака (например, 0,145 или 0,0839 сек.)



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Усовершенствования модели

- + Введен общий параметр модели TregMax – время отключения регуляторов скорости турбин (50 сек.)
- + Должно быть равно времени включения шунта КЗ
- + С этого момента механические моменты турбин будут постоянны
- + Введено верхнее ограничение на изменение механического момента турбины $M_{tmax} = 1,1 P_g$
- + Жестко прописано в модели, не является изменяемым параметром
- + Актуально только для обеспечения установившегося режима



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Обеспечение установившегося режима системы

- + Баланс мощности в системе
 - $S_{G1} + S_{G2} + S_{G3} = S_{N1} + S_{N2} + S_{N3} + S_{N4} + \text{потери}$
 - $S_{G3} = S_{K3}$
 - как можно точнее рассчитать мощность нагрузки S_{N3}
 - параметры трансформатора Т2 рассчитываются по мощности этого узла (S_{K3})
- + Основной принцип – после установления режима все переменные должны стать постоянными, но не принимать значения ограничений наложенных на регулируемые сигналы (U_{f_full} , M_{t_pp})
- + Проверить величины напряжений во всех узлах ЭЭС, например для сети 500 кВ – $0,95 \div 1,05$ о.е.



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Регулирование мощности генераторов

- + Три подхода, каждый со своими достоинствами и недостатками
- + Регулирование мощности **всех** турбин (G1, G2, G3) со своими постоянными времени $\tau_c = 0,8$ сек.
- + Регулирование мощности только реальных станций (G1, G2), мощность большой ЭЭС фиксирована ($\tau_{cG3} = 10^6$ сек.)
- + Регулирование мощности только за счет большой ЭЭС ($\tau_{cG3} = 0,8$ сек.), мощности станций G1 и G2 – постоянны ($\tau_{cG1} = \tau_{cG2} = 10^6$ сек.)



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Подготовка опыта короткого замыкания

- + В точно рассчитанной сети установка режима происходит не более 50 сек.
- + Установить общий параметр модели TregMax = 50 сек. (означает, что после 50-ой секунды мощность турбин не регулируется)
- + Установить время КЗ для шунта заданного преподавателем TkzOn = 50 сек.
- + Установить величину длительности короткого замыкания dTkzOn = 0,01÷0,05 сек.
- + Установить время переходного процесса (StopTime) не более 100 сек. и "Number of intervals" = 5000



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Графики переходных процессов

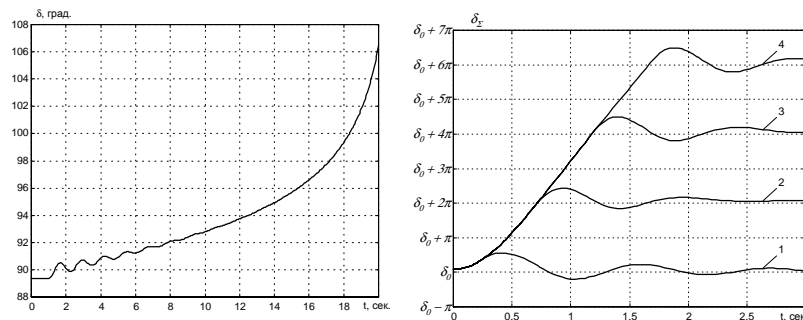
- + Отдельное окно Plot для каждого пункта
- + Все взаимные углы между роторами генераторов (например, delta_G1_G2, значения в радианах, остальное в о.е.) – одно окно Plot
- + Механическая (Mt_pp) и электромагнитная (Me) мощность каждого генератора – три окна Plot
- + Напряжения в точке КЗ (например, для КЗ в 12-ом узле это график L3.U2m или L5.U1m) и на шинах высокого напряжения станций (L1.U1m и L2.U1m) – одно окно Plot



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

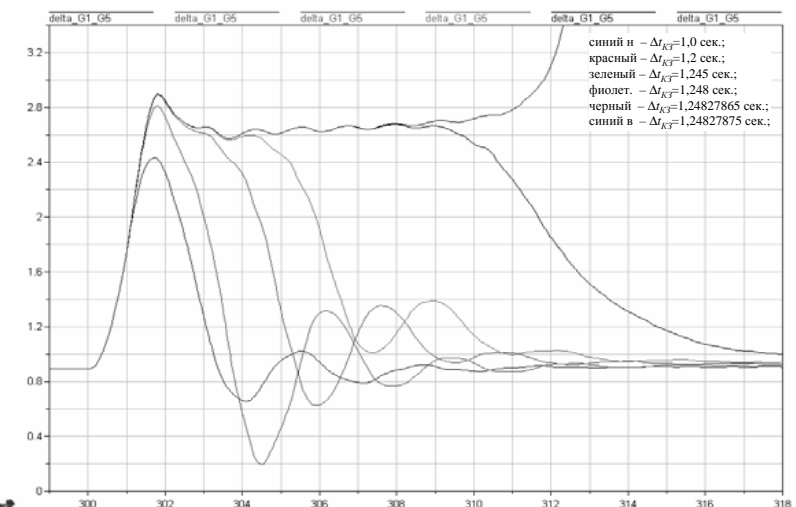
Конечный результат этапа

- + Увеличение длительности короткого замыкания (величина dTkzOn) до потери динамической устойчивости или малейшего намека на асинхронный ход, который недопустим согласно РД



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Приближение к предельному режиму



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Оформление результатов работы

- + Установившиеся режимы никому не интересны (все графики показывать начиная с 49-ой секунды и до завершения процесса)
- + Скопировать график куда-либо в векторном виде – окно Plot, меню “File/Copy to clipboard”
- + PrintScreen (и растровые графики) карается!!!
- + Сетка и масштабы: Setup/Options и Setup/Range



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Troubleshooting

- + Обратиться в службу технической поддержки компании Dynasim AB: *Research Park Ideon, SE-223 70, Lund, Sweden*
- + Ничего не надо пересохранять !!!
- + Если необходимо создать модель с другими параметрами – создать новую папку и скопировать в нее все файлы из исходной
- + Если расчет «завис» – Simulation/Stop, Open results → dsres.mat (и понять причины!!!)
- + Показать расчеты на кафедре – принести всё содержимое папки кроме dsres.mat (в серьезных расчетах его размер – 50-100 Мб)



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Повышение уровня динамической устойчивости

- + Улучшение качества переходных процессов за счет грамотной настройки АРВ-СДП1 (только для реальных станций G1 и G2)
- + Отключение генераторов на ГЭС
- + Регулирование (снижение) мощности турбин на ТЭС
- + Отключение нагрузки
- + Любые меры могут быть предложены только после нормального завершения опыта КЗ на основе анализа поведения системы



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)

Спасибо за внимание!!!



Адрес в Интернет:
www.eps.spbstu.ru
кафедра «Электрические Системы и Сети»,
СПбГПУ, Россия



Кафедра «Электрические Системы и Сети» (www.eps.spbstu.ru)