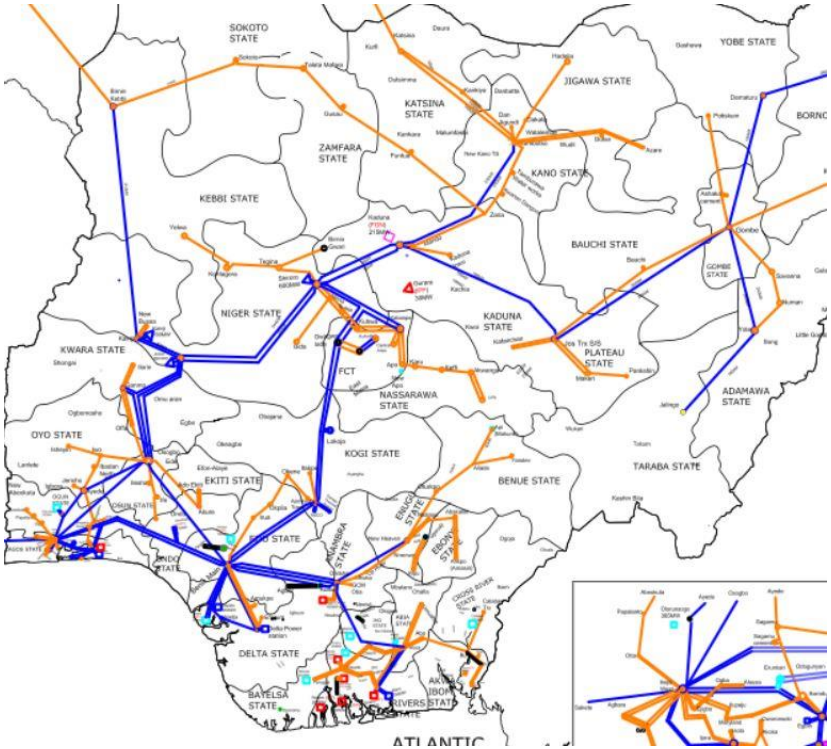
Применение PSCAD™/EMTDC™ для исследования современных энергосистем

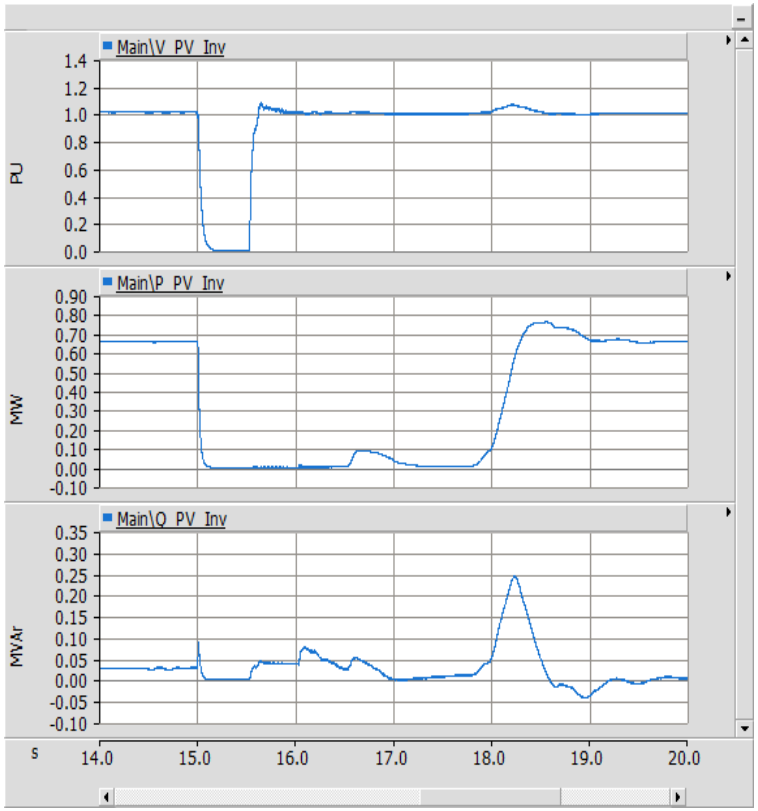
Applications of PSCAD™/EMTDC™ in Modern Power System Studies

Анализ по действующим значениям (RMS) переходных и установившихся режимов

Manitoba HYDRO INTERNATIONAL

- Исследование крупных энергосистем в целом
- Быстрая симуляция и рассмотрение множества сценариев
- Показано, что результаты исследований традиционной генерации с синхронными машинами совпадают с реальными





Расчеты переходных процессов и расчеты установившихся режимов

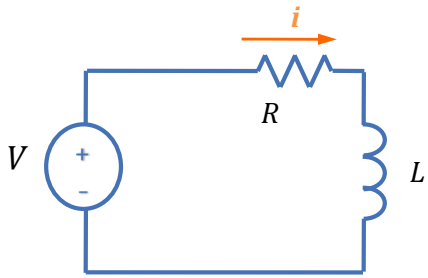
Manitoba HYDRO INTERNATIONAL

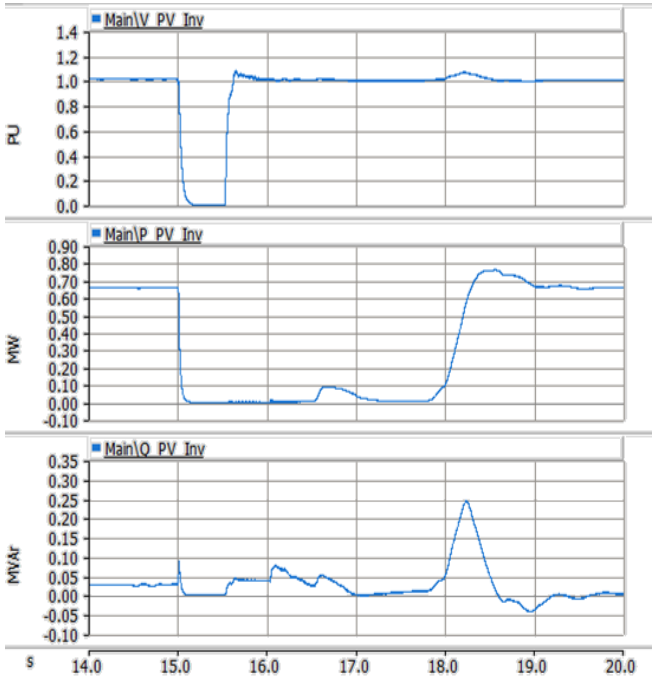
- Расчеты установившихся режимов и динамической устойчивости
  - Основаны на векторных вычислениях

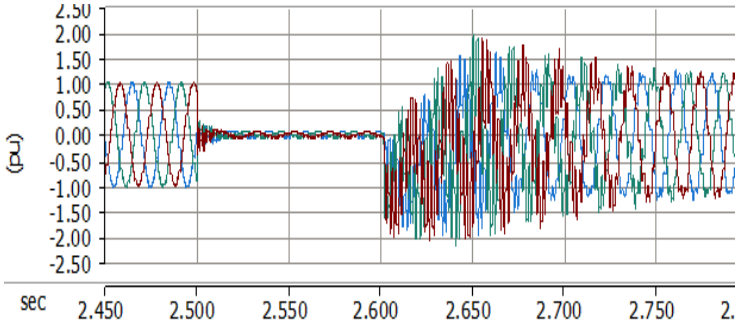
$$V(\omega) = (R + j\omega L) \times I(\omega)$$

- Расчеты переходных процессов
  - Основаны на решение дифференциальных уравнений во временной области

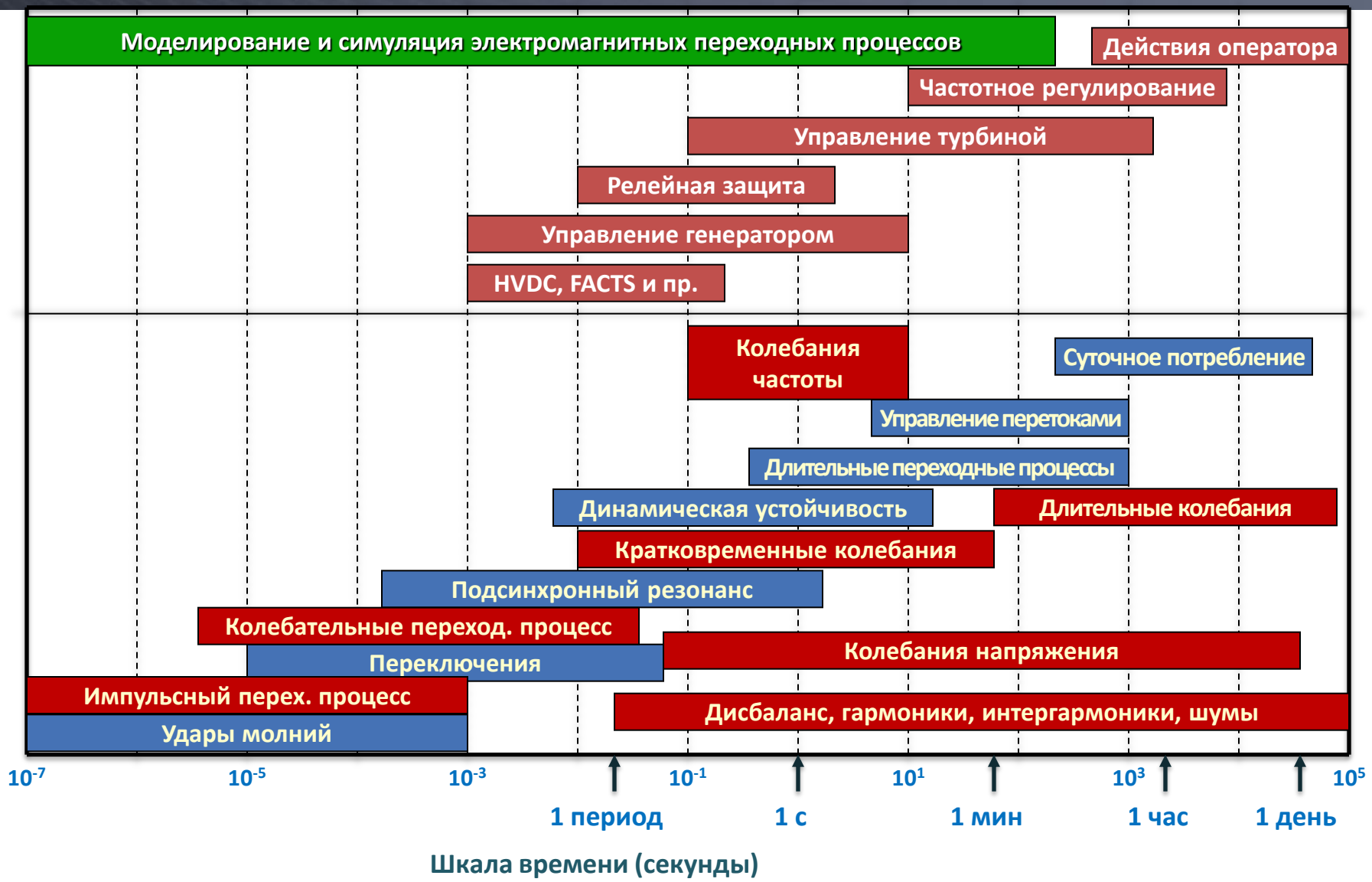
$$v(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{d}{dt} i(t)$$







Шкала времени для процессов в электроэнергетике



Выбор средств моделирования

Manitoba HYDRO INTERNATIONAL

Программы расчета статической и динамической устойчивости

- Результаты применимы для установившегося режима и низкочастотных колебаний
- Упрощенная схема управления (приближенные передаточные функции)
- Подходит для больших систем, когда переходные процессы не взаимосвязаны

Программы расчета переходных процессов (EMT)

- Результаты применимы для широкого диапазона частот
- Подробная модель систем управления
- Подробная модель переключения устройств силовой электроники
- Исследование гармоник
- Моделирование переходных перенапряжений, ударов молнии и др.
- Моделирование динамики машин

Обширная сфера применения

- Исследование традиционных систем переменного тока
  - Исследование перенапряжений (TOV) и переходных восстанавливающихся напряжений (TRV)
    - Уровень срабатывания разрядника
  - Динамическая реакция энергосистемы
    - Модели генераторов, турбин, линий электропередач и пр.
  - Базовая прочность изоляции (BIL) и исследование сверхбыстрых процессов
- Моделирование и проверка релейной защиты
- Устройства силовой электроники
  - Исследование производительности
  - Моделирование
  - Проектирование систем управления

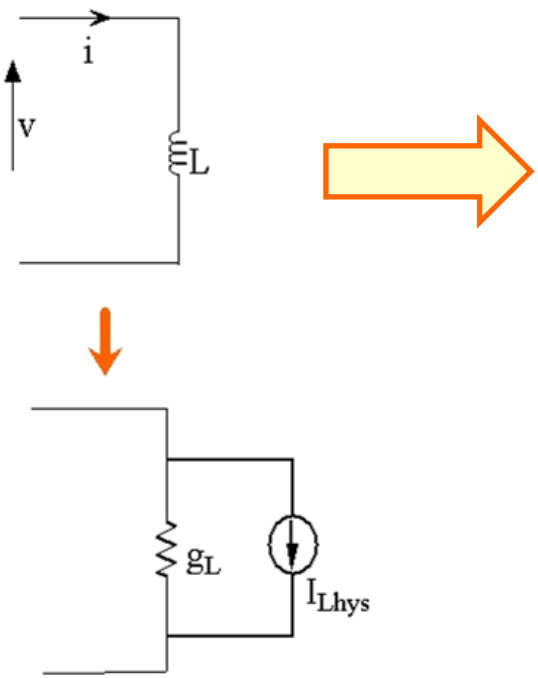
Обширная сфера применения

- Моделирование систем HVDC и FACTS
- Исследование распределенной генерации
  - Ветросиловые установки
  - Солнечные батареи
  - Аккумуляторы
  - Топливные элементы
  - Дизельгенераторы
- Исследование крупных ветроэнергетических комплексов

Основные принципы расчета переходных процессов (ЕМТ)

Расчеты ЕМТ

- Алгоритм Доммеля для компонентов энергосистемы
  - Интегрирование методом трапеций позволяет представить реактивные компоненты как параллельно включенные активный резистор и источник тока.
    - для примера рассматривается индуктивность:



$$v := L \cdot \frac{d}{dt} i$$

$$i := \frac{1}{L} \cdot \int_0^t v \, dt$$

Время интегрирования

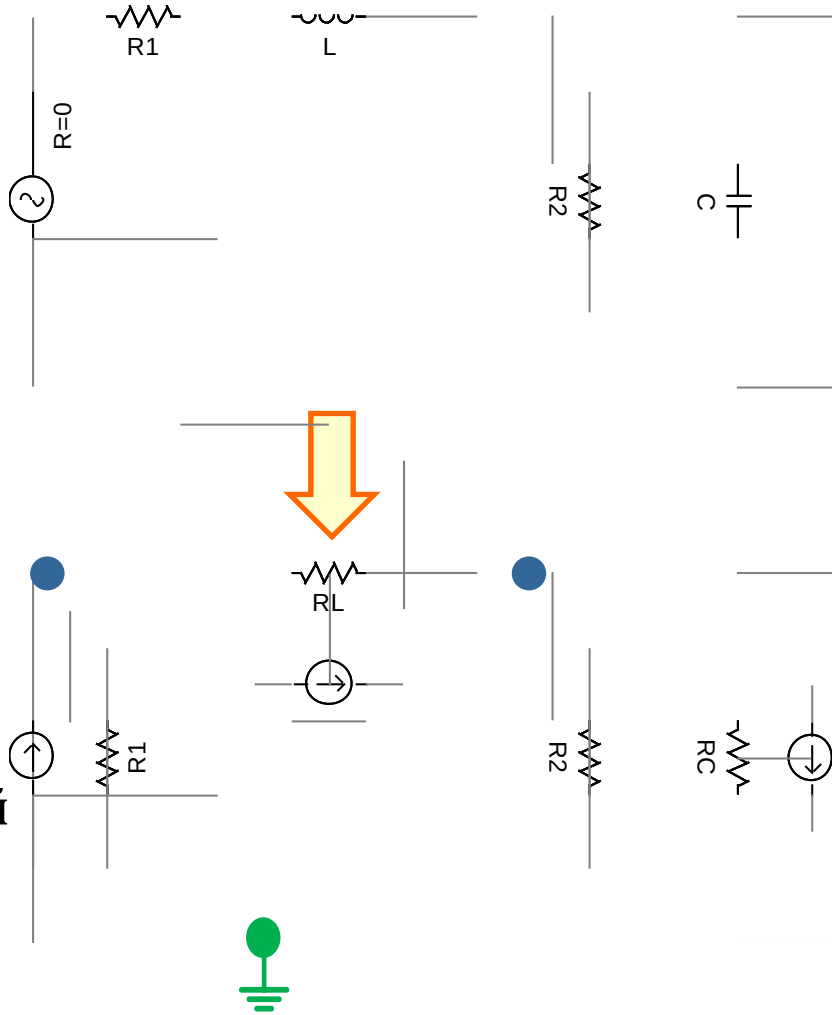
$$i(t) := i(t - \Delta t) + \frac{1}{L} \cdot \left[\frac{(v(t) + v(t - \Delta t))}{2} \right] \cdot \Delta t$$

$$i(t) := i(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2L} \cdot v(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2 \cdot L} \cdot v(t)$$

$$i(t) := i_{Lhys} + g_L \cdot v(t)$$

Расчеты ЕМТ

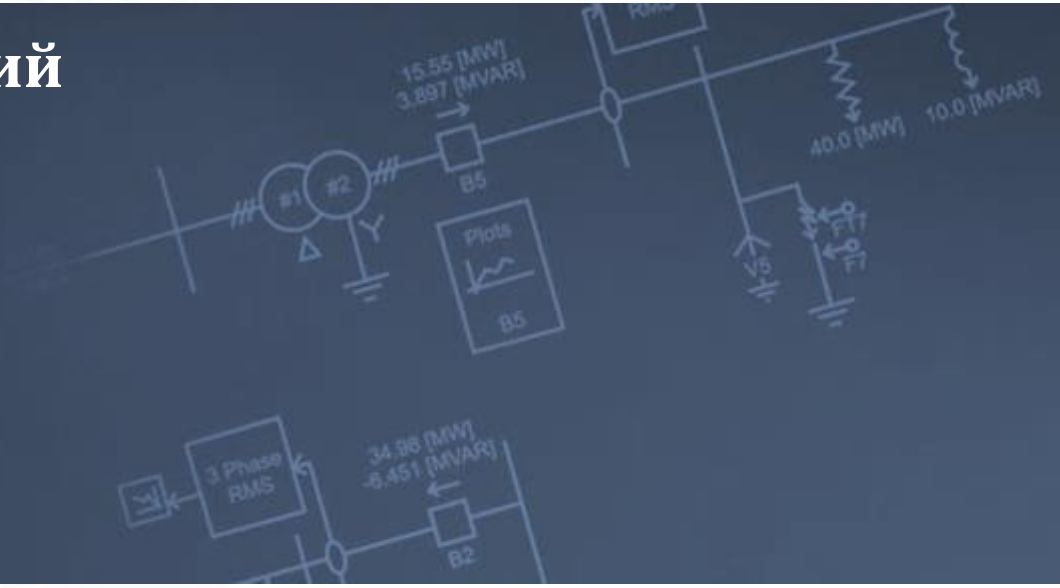
Расчет электрической схемы сводятся к решению алгебраических уравнений для матрицы полной проводимости



$$[I] = [Y][V]$$

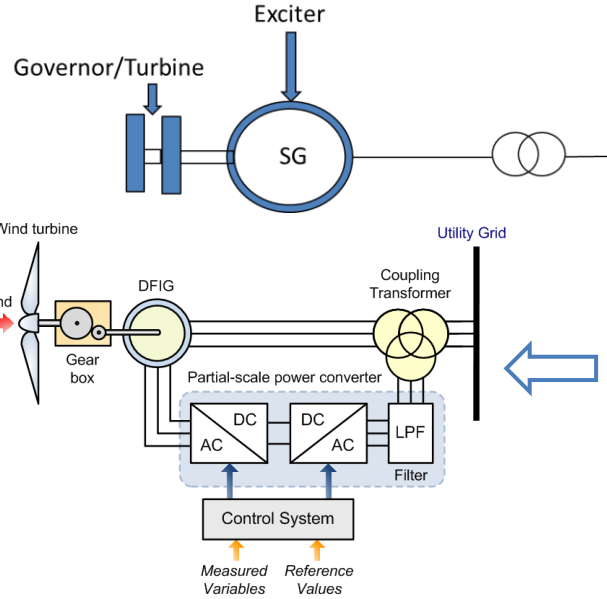
[I]: Матрица токов
[V]: Матрица напряжений в узлах
[Y]: Главная матрица проводимостей

Примеры исследований



Ветрогенераторы и передача ЭЭ

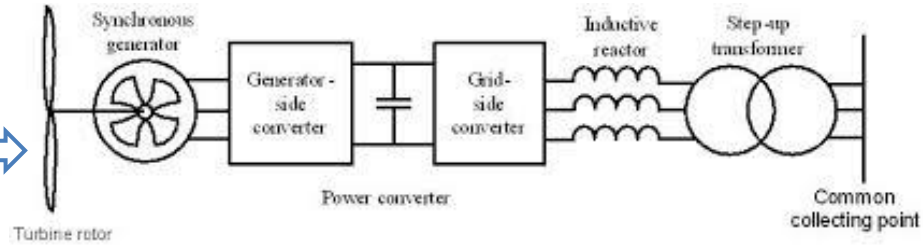
- Системы ветрогенераторов сильно отличаются от традиционных систем генерации с синхронными машинами
- Для подключения ветрогенераторов к единой сети используется линии передачи переменного или постоянного тока и необходимостью применения длинных кабелей переменного тока, фильтров, систем последовательной компенсации и с учетом приемной мощности сетей.



Синхронный генератор

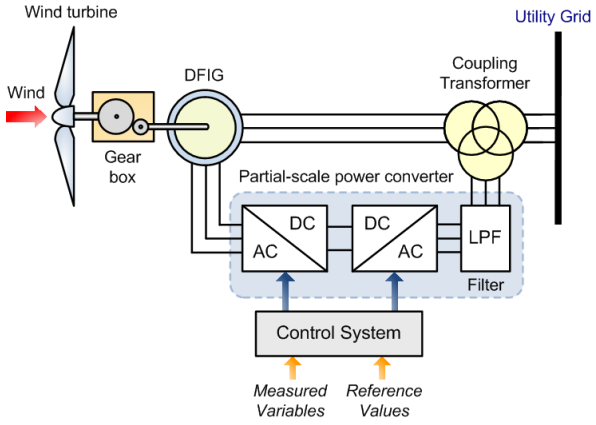
Wind Type 3

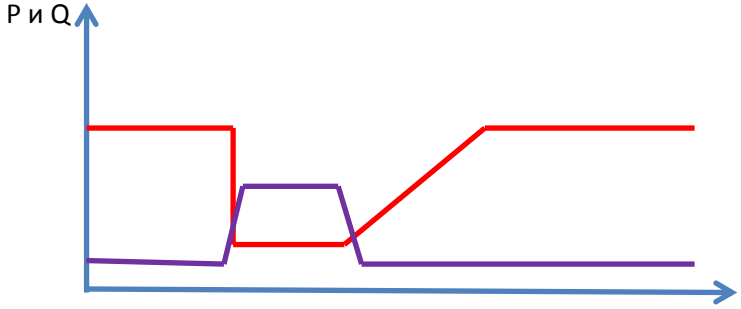
Wind Type 4



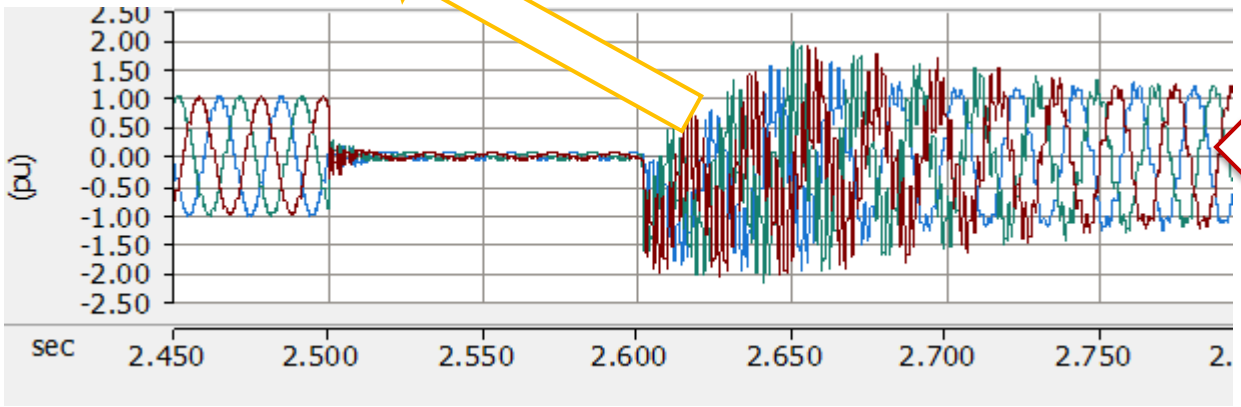
Ветрогенераторы и передача ЭЭ

- Контроллер подключения (взаимодействия с сетью)
- Вопросы связанные с приемной мощностью сетей





КЗ на линии успешное восстановление подачи мощности



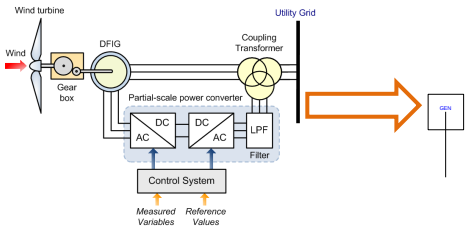
Напряжение на шине при КЗ

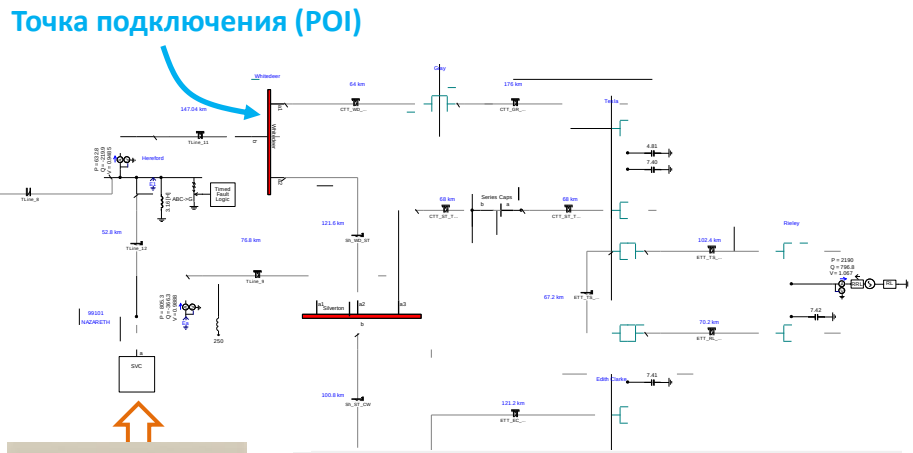
Для устойчивой работы ЭС при КЗ должно поддерживаться напряжение на шинах и требуемый фазовый сдвиг.

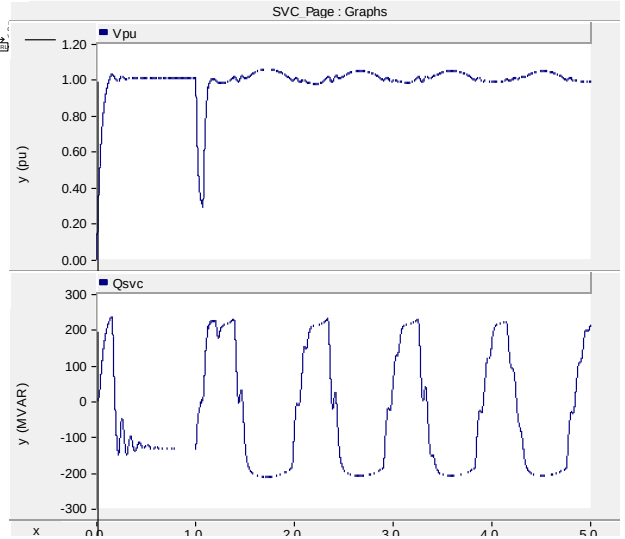
В реальных системах и при симуляции ЕМТ одни и те же явления могут проходить по совершенно разным сценариям.

Ветрогенераторы и передача ЭЭ

- Контроллер подключения для учета взаимодействия между соседними ветрогенераторами, устройствами FACTS и пр.



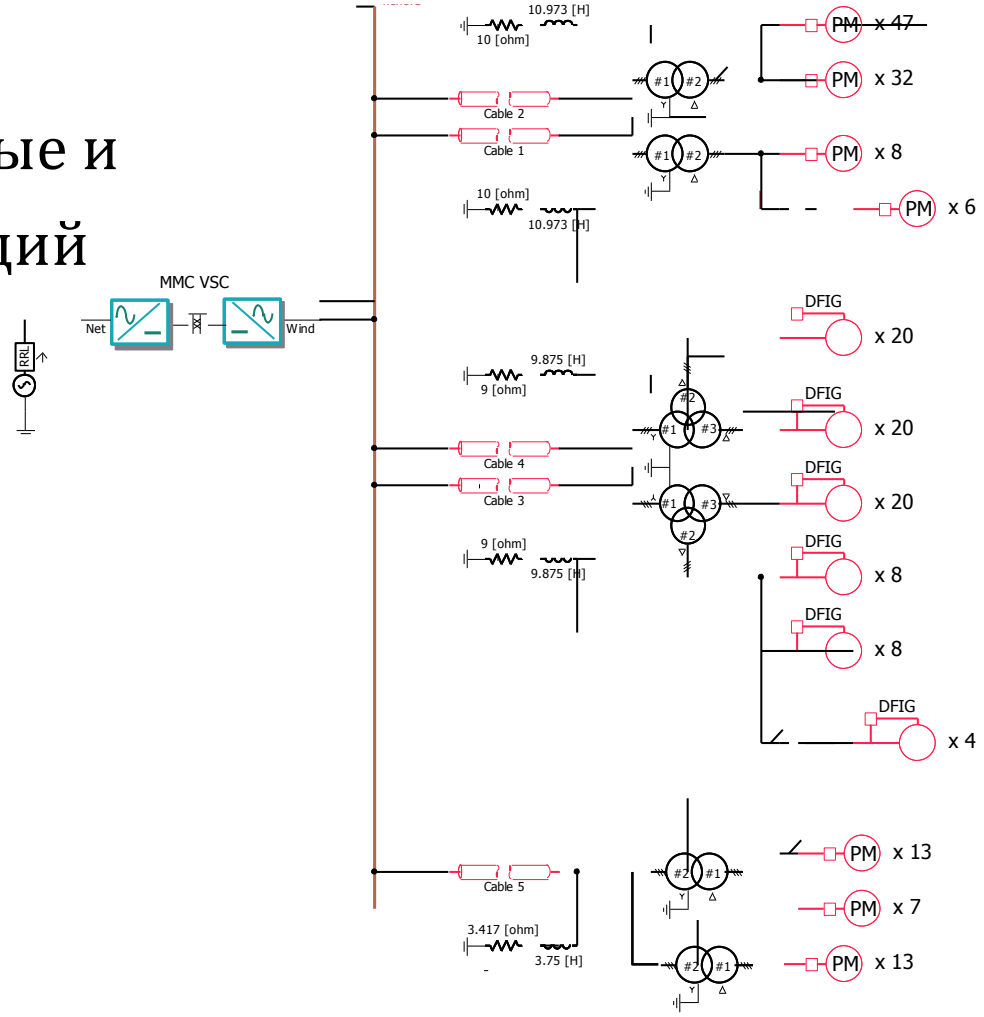




- Симуляция ЕМТ при верификации работы:
  - Два и более регуляторов возбуждения
  - «Слабая» точка подключения
  - Опорная реактивная мощность управляет реакцией.

Исследования динамических свойств систем силовой электроники

- HVDC
- FACTS
- Больших ветровые и солнечных станций

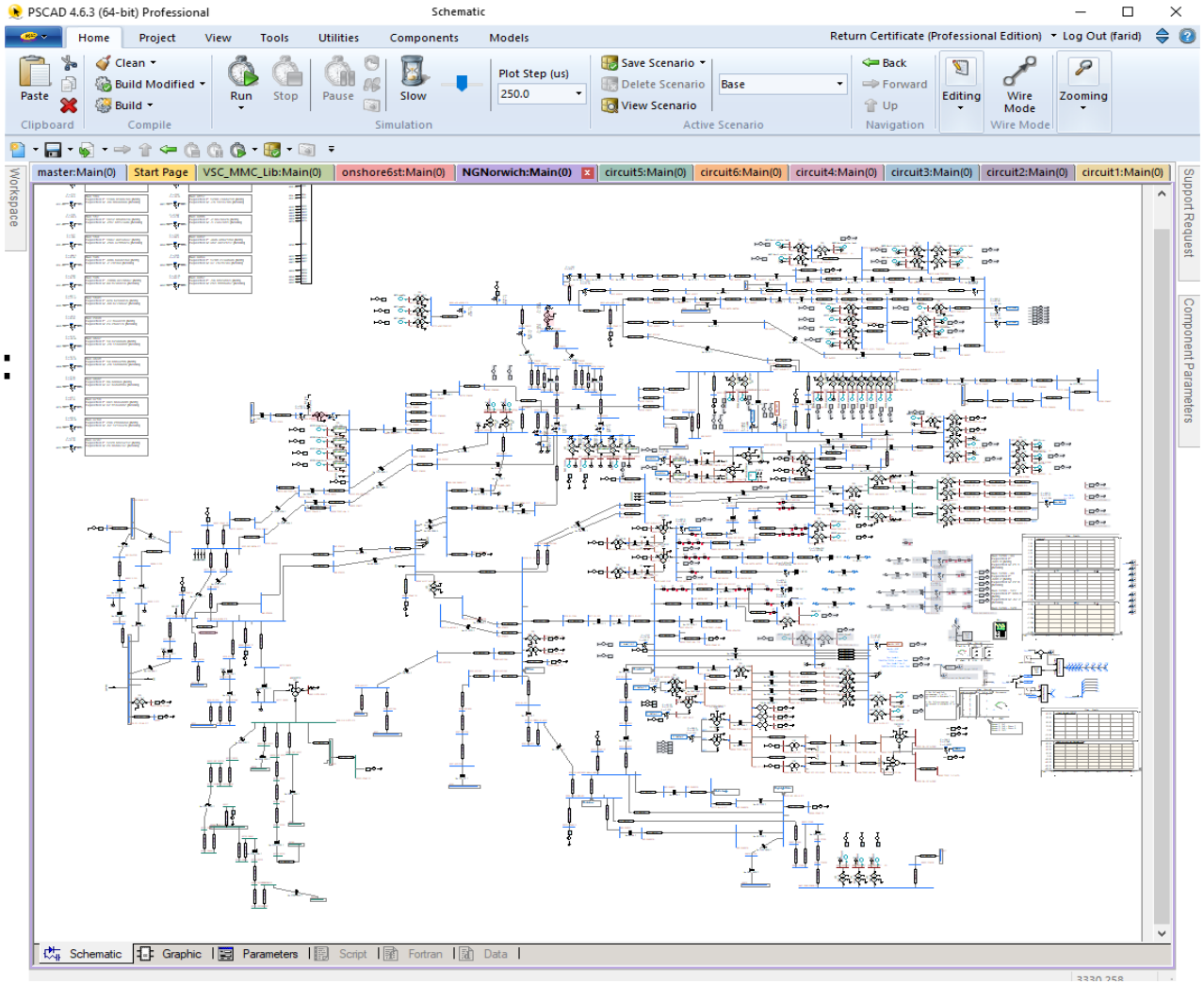


Исследования динамических свойств систем силовой электроники

Manitoba HYDRO INTERNATIONAL

Создается подробная модель сети вокруг точки присоединения

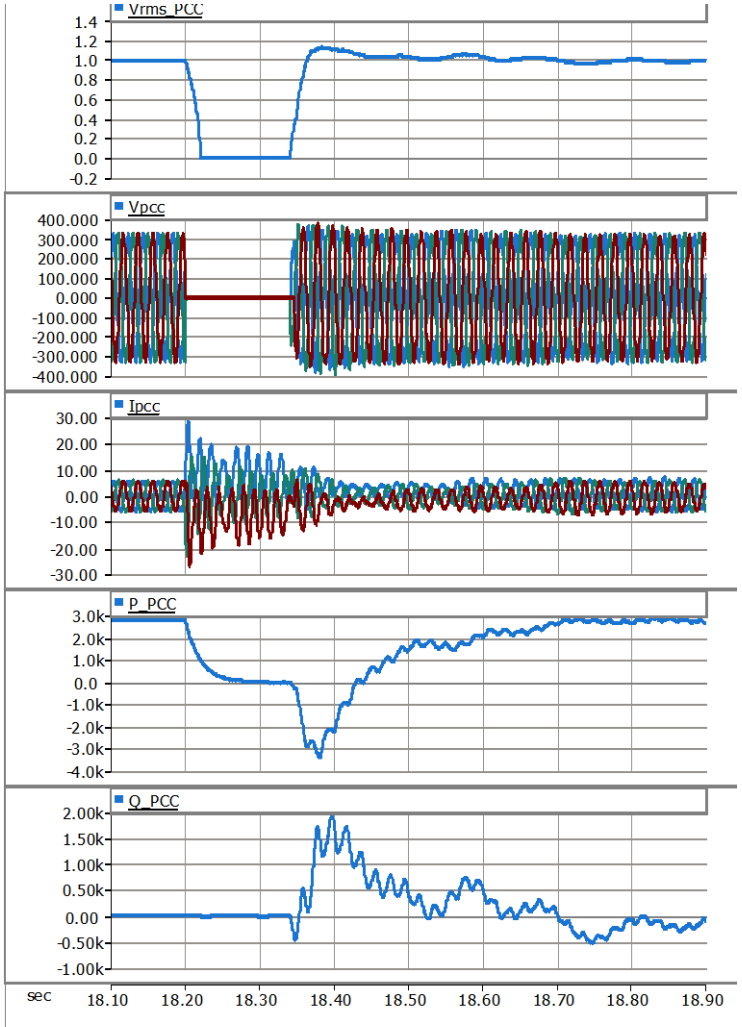
- Генераторы
- ЛЭП
- Потребители
- Динамические электроустановки: HVDC, FACTS, ветряные генераторы и пр.



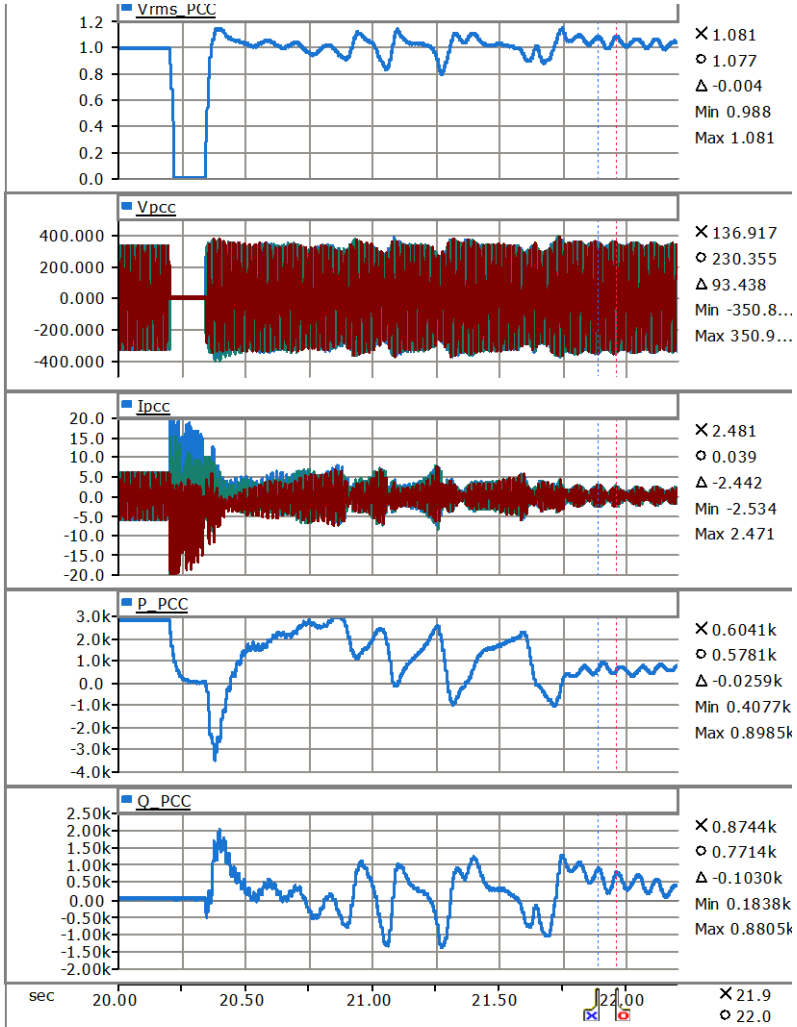
Исследования динамических свойств систем силовой электроники

Пример: Результаты моделирования морской ветровой электростанции 3000 МВт с подключением по кабелю переменного тока (Европа)

Удовлетворительная реакция на КЗ



Неудовлетворительная реакция на КЗ



Степень влияние на качество электроэнергии

- Рост числа инверторных источников может отрицательно повлиять на качество электроэнергии (КЭЭ):
  - Увеличение гармонических помех.
  - Попадание контроллера присоединения в резонансные режимы работы. Например, устойчивые колебания напряжения с частотой (6 - 12)Гц.
- Предлагаемые методы повышения КЭЭ должны предварительно оцениваться на симуляторе ЕМТ.
  - Пассивные фильтры,
  - Алгоритмы контроллеров демпфирования и присоединения.

Новые технологические возможности для моделирования энергосистем

Тенденции развития средств моделирования

- Параллельные вычисления больших моделей на нескольких процессорах (ядрах)
  - Типовой компьютер уже содержит 8 ядер
  - Высокопроизводительные 96-ядерные компьютеры относительно недорогие
- Повышение спроса на точные модели HVDC и другие устройства силовые электроники.
- Развитие алгоритмов для быстрых матричных вычислений
- Гибридная симуляция
  - интерфейс между EMT и RMS симуляторами
  - интерфейс между EMT и векторно-динамическими (Dynamic Phasors) симуляторами
- Методы идентификации систем для анализа типа характеристических значений
  - Исследования по методу Прони (Prony)

Спасибо за внимание!

Задавайте интересующие Вас вопросы?