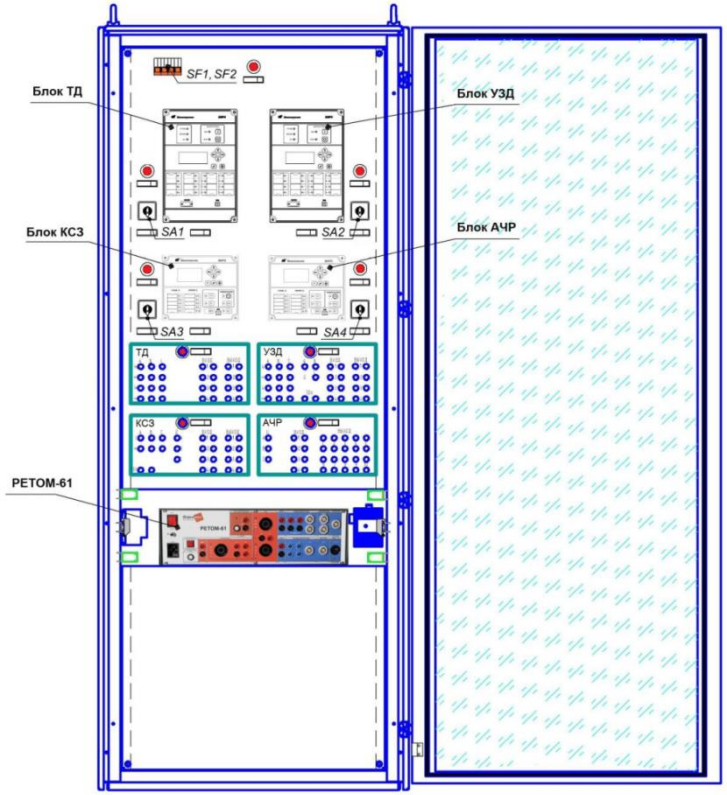
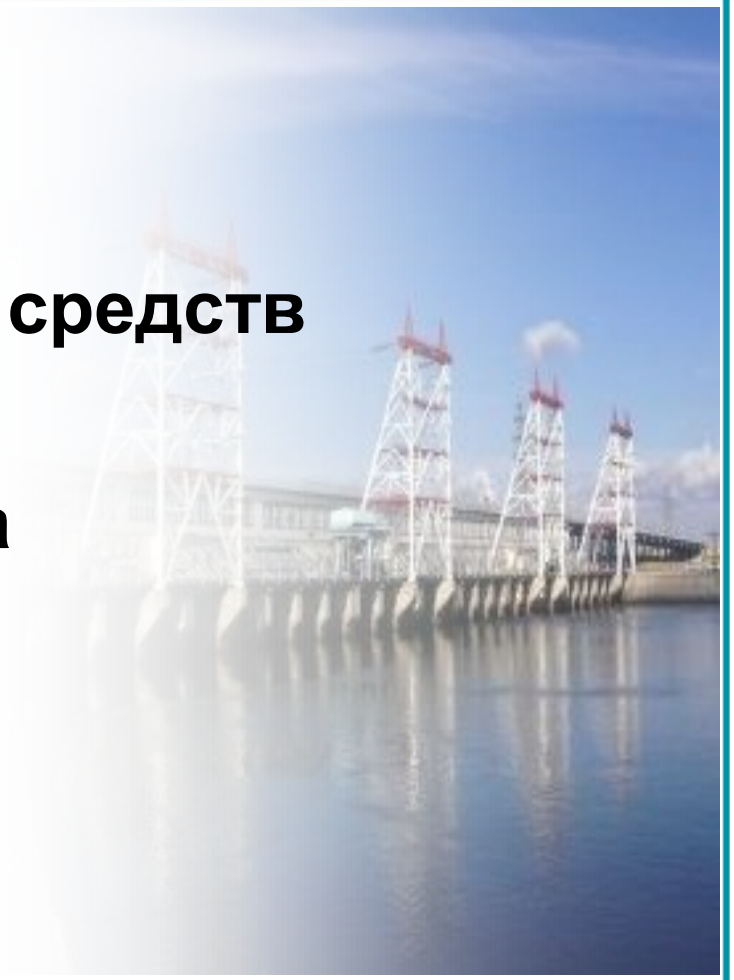
Стенды для изучения устройств релейной защиты и автоматики энергосистем



ЗАО «ЭнЛАБ» 2018 г.

План презентации

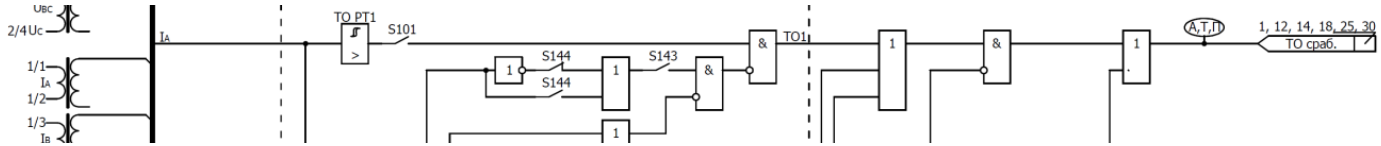
- **Актуальность и цели**
- **Обзор инструментальных средств**
- **Описание PSCAD**
- **Описание учебного стенда**
- **Пример реализации.**
- **Наши предложения.**



Актуальность и цели

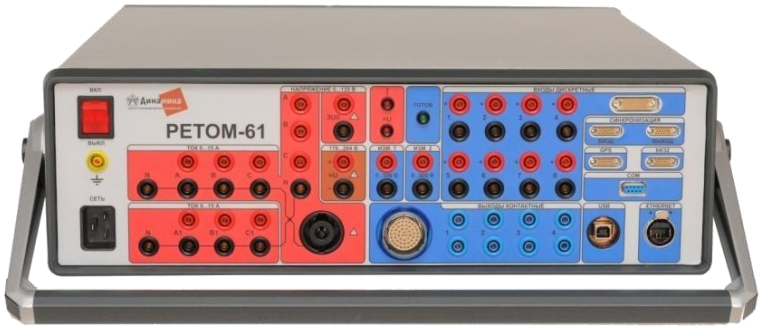
Очень важно для специалистов по РЗА:

- Иметь четкое понимание работы РЗА и комплексов защит, приобретаемое в период обучения, и их совершенствование на курсах повышения квалификации.
- Иметь постоянную возможность для сверки своих ожиданий при внесение изменений в конфигурацию РЗА с фактической его работой.
- Хорошие знания особенностей применяемых на объектах устройств РЗА.



Обзор инструментальных средств

Традиционным инструментом «релейщика» считается устройство для проверки типа «РЕТОМ» или его аналоги.

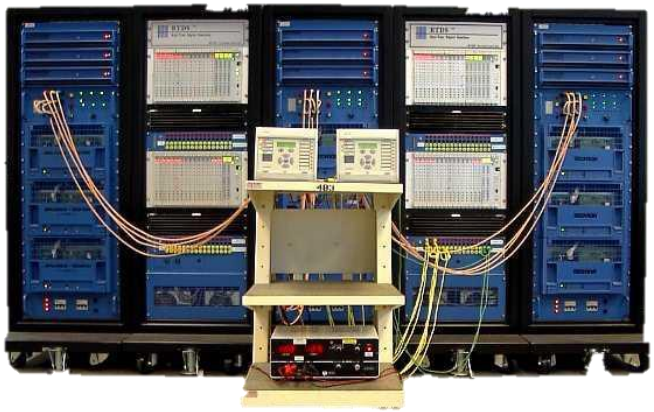


Эти методы проверки базируются на:

- использовании сигналов идеальной формы.
- проверке в контрольных точках (абстрактное понимание ЭС)
- проверке отдельных функций защиты, без учета взаимодействий.

Обзор инструментальных средств

Практически совершенной системой проверки РЗА является симуляторы энергосистем, работающие в реальном времени.



Цифровой симулятор RTDS

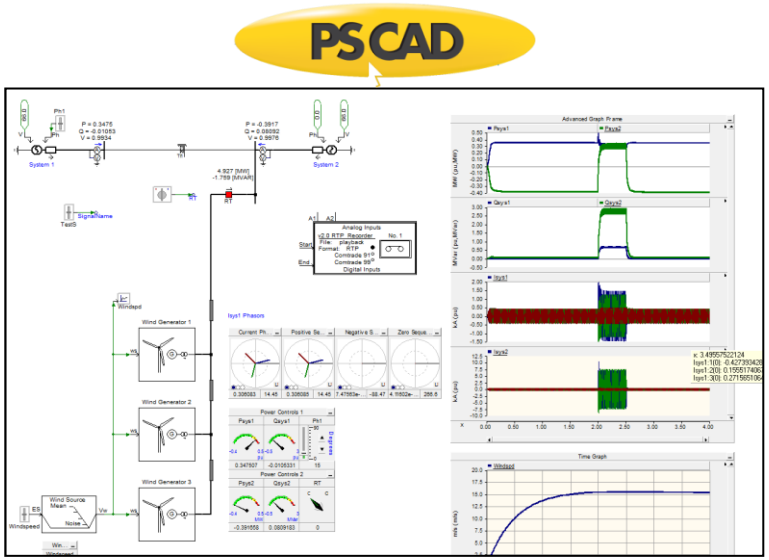
Большой аналоговый симулятор НТЦ «ЕЭС» («НИИПТ»)

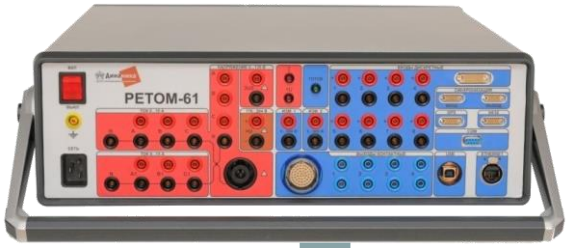
Главный их недостаток:

- Стационарное использование и дороговизна.

Обзор инструментальных средств

Мы предлагаем гибридный программно-аппаратный метод проверки РЗА на базе программного симулятора переходных процессов в энергосистемах PSCAD.

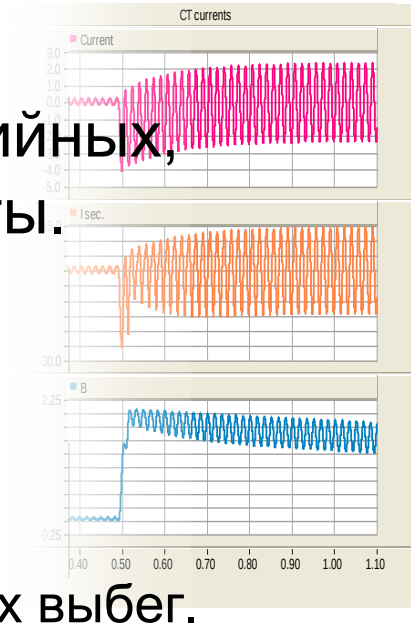




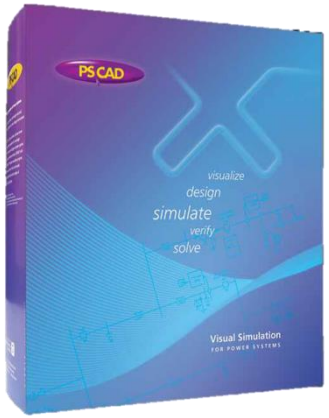
Обзор инструментальных средств

Достоинства методики:

- Проверка устройств РЗА с подачей испытательных сигналов по форме и амплитуде максимально приближенных к реальным эксплуатационным сигналам.
- Наблюдение за действием РЗА в предаварийных, аварийных и поставарийных режимах работы.
- Учет физических явлений в энергосистеме:
  - Броски тока намагничивания.
  - Волновые процессы и транспозиция в линиях электропередач.
  - Провалы напряжения при запуске двигателей и их выбег.
  - Насыщение ТТ и феррорезонанс ТН и мн. др.



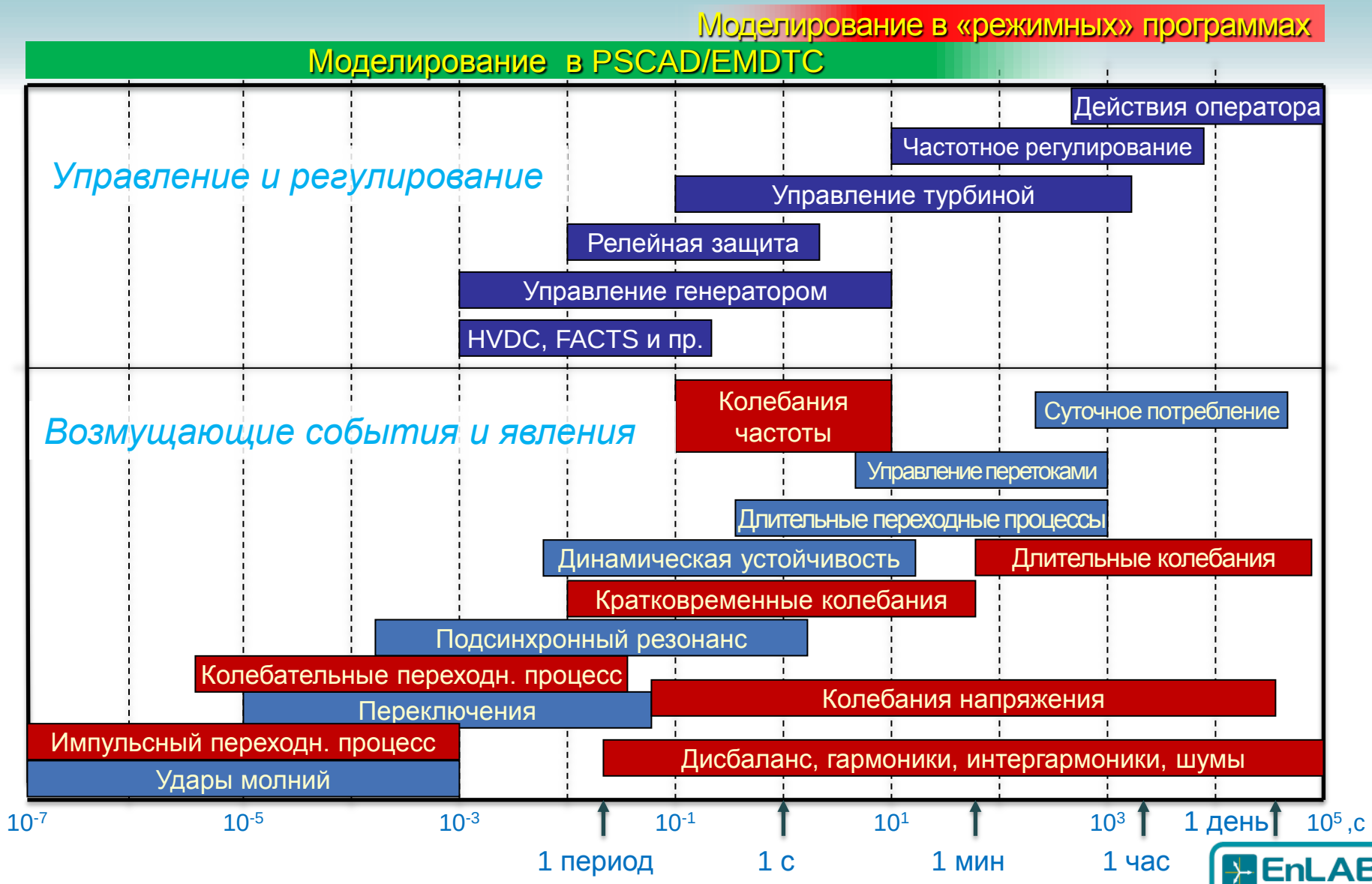
Описание PSCAD



PSCAD является быстродействующим, точным и удобным инструментом для моделирования работы энергосистем и электрооборудования при их проектировании, анализе и оптимизации. PSCAD с модулем моделирование переходных процессов EMTDC™ предоставляет широкий выбор инструментов и богатую библиотеку компонентов для глубокого анализа работы энергооборудования.

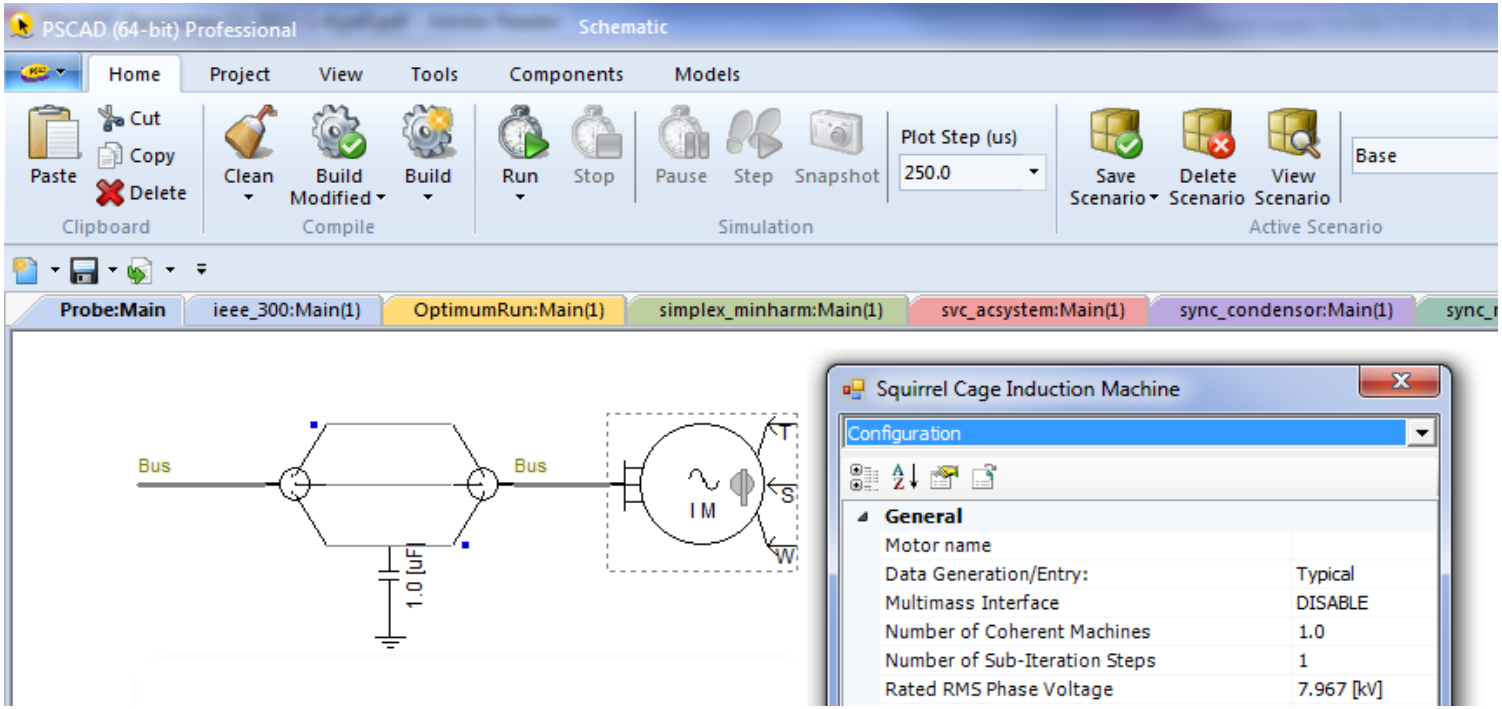
С 1993 года PSCAD установлен более чем на 37000 рабочих мест в более чем 1600 предприятиях из более чем 85 стран.

Временная шкала процессов в электроэнергетике



Визуальное построение моделей

Построение модели осуществляется максимально наглядно. Она оформляется в графическом виде как привычная электрическая схема. Характеристики и свойства каждого элемента модели задаются в виде табличных данных. Готовая модель удобна для анализа и проверки.

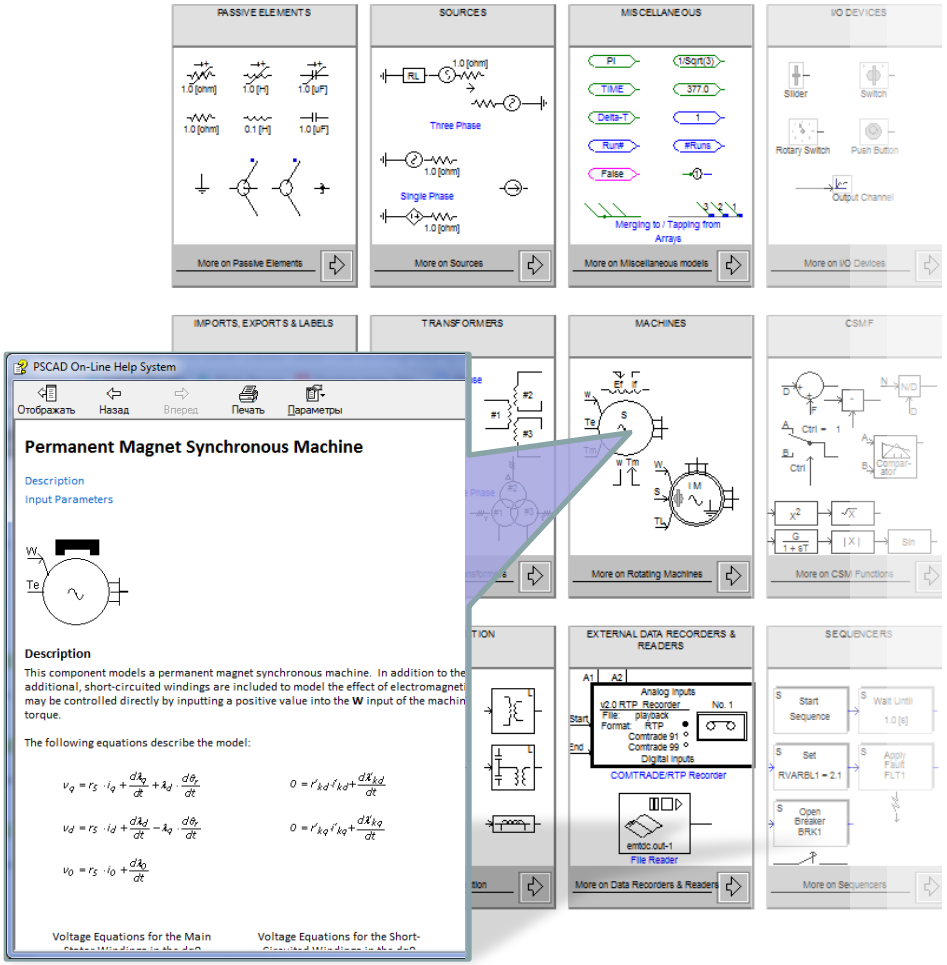


EnLAB

Библиотека компонентов

Содержит около 300 компонентов:

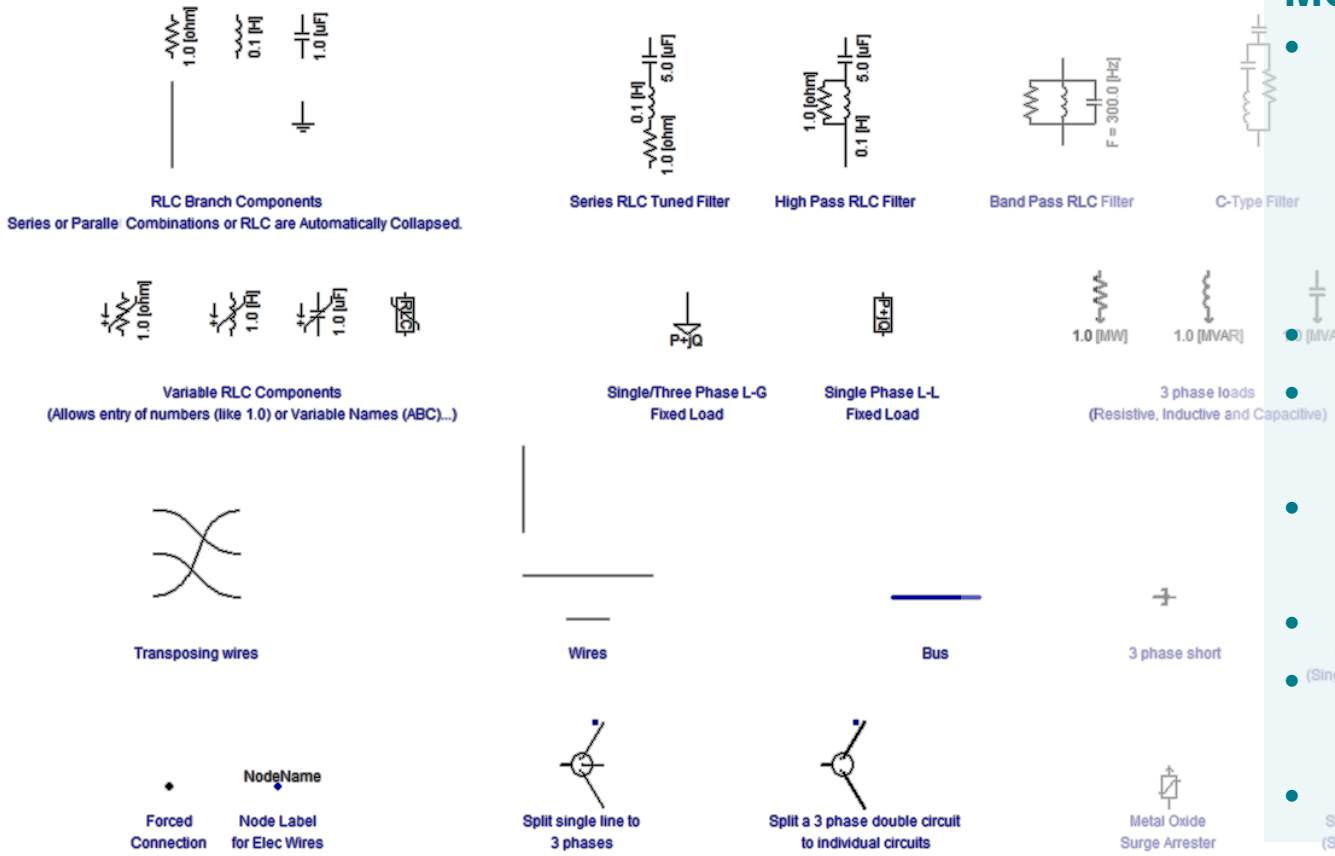
- Пассивные элементы
- Источники электроэнергии
- Выключатели
- Силовая электроника
- Трансформаторы
- Электрические машины
- ВЛ и КЛ
- Измерители
- Релейная защита
- Экспорт и импорт данных
- Логические функции
- Фильтры
- пр.



Каждый компонент имеет подробное описание в справочнике

EnLAB

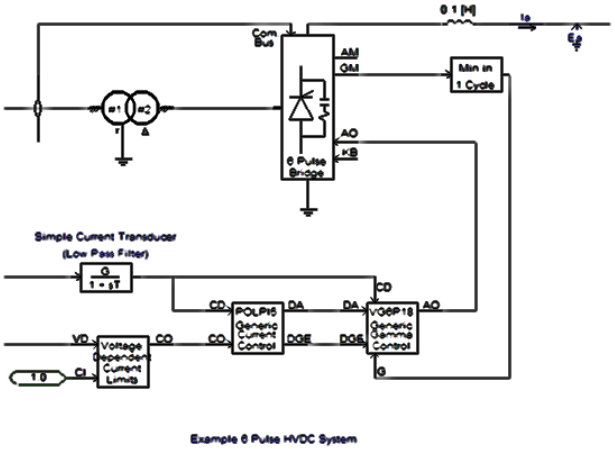
Пассивные электрические компоненты



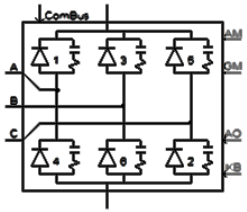
Модели:

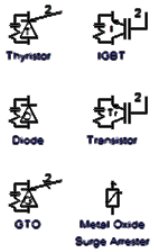
- Конденсаторы, резисторы, реакторы (включая варьируемые)
- RLC фильтры
- Фиксированные нагрузки
- Соединители, провода, шины
- Разрядники;
- Реакторы с насыщением
- Варисторы

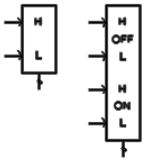
Компоненты силовой электроники



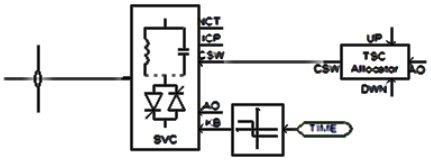
Example 6 Pulse HVDC System



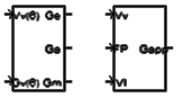




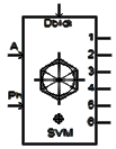
Interpolated firing pulse generator



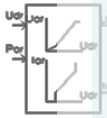
Example SVC (TSC/TCR) System



Effective, Average, Minimum Gamma Measurements



Space Vector Modulation



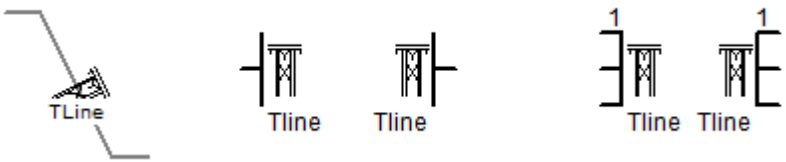
Power Electronic Firing Controls

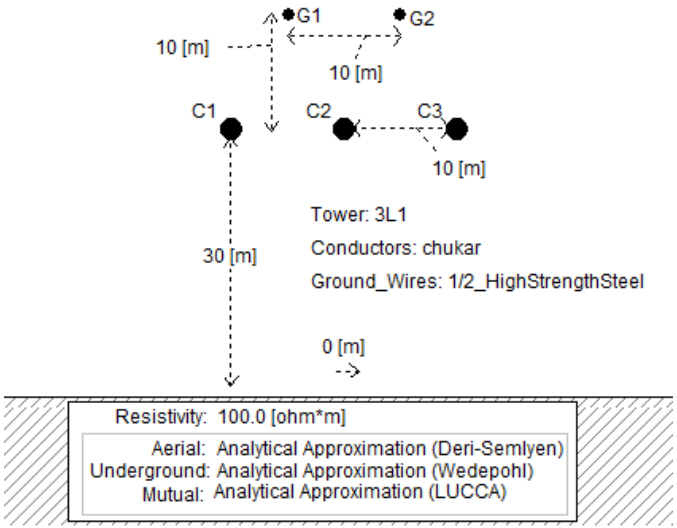
- Выпрямители и инверторы
- Тиристоры, транзисторы, диоды, варисторы
- Управление транзисторами и тиристорами
- Управление конденсаторами и тиристорами компенсаторов реактивной мощности
- Фазовые регуляторы
- Вставки постоянного тока

EnLAB

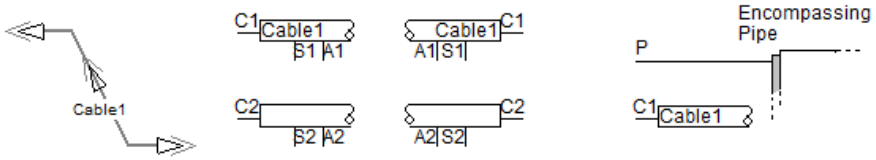
Компоненты передачи электрической энергии

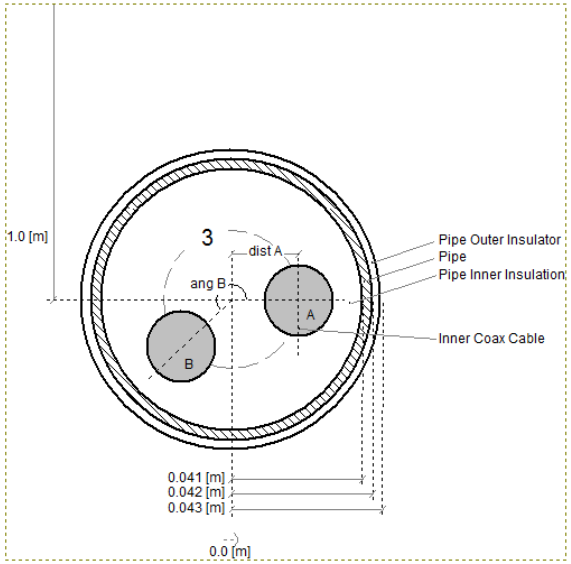
Воздушные линии





Кабельные линии



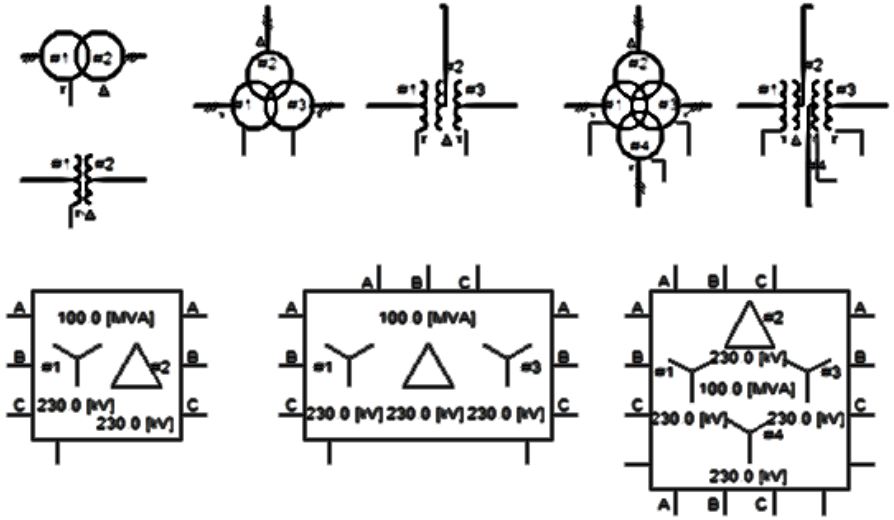


Описание моделей путем задания геометрических размеров

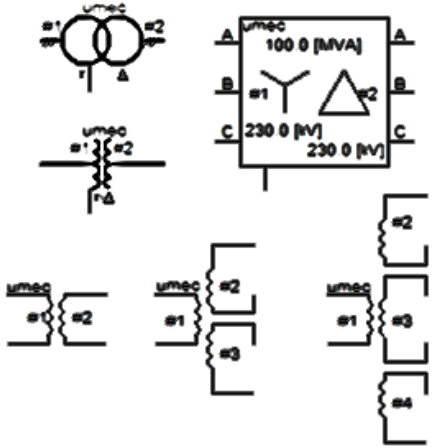
EnLAB

Трансформаторы

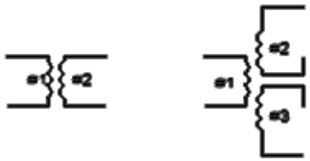
Группы трансформаторов (раздельные магнитные системы)



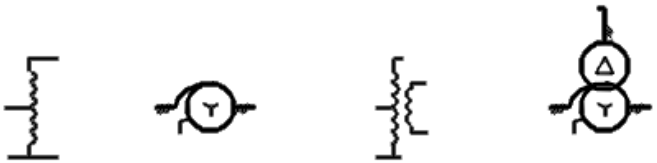
Многофазные трансформаторы



Однофазные трансформаторы

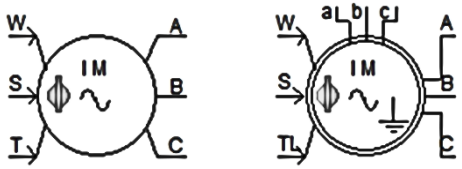


Автотрансформаторы

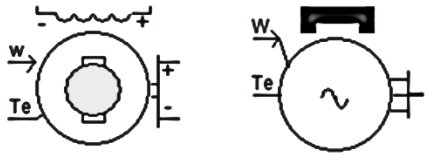


Электрические машины

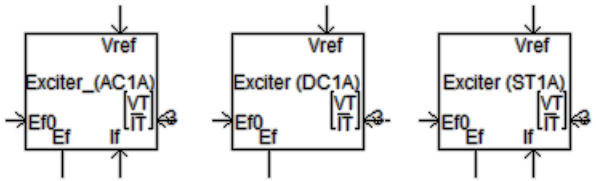
Машины индукционного типа



Машины постоянного тока

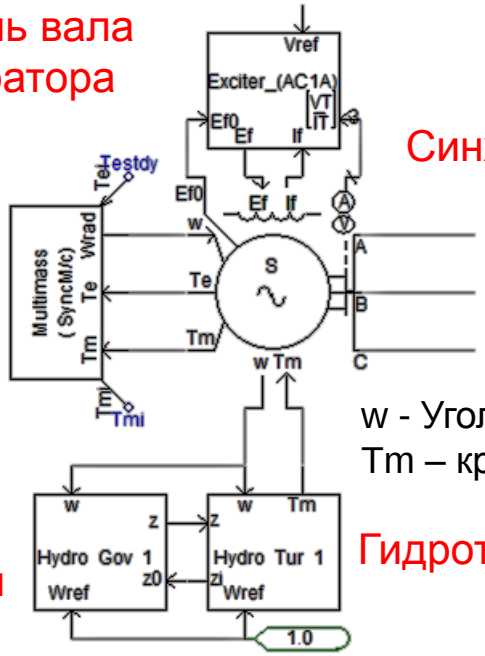


Возбудители



Возбудитель

Модель вала генератора



Синхронный генератор

Электрическая сеть

w - Угол поворота

Tm – крутящий момент

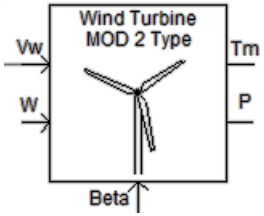
Регулятор гидротурбины

Гидротурбина

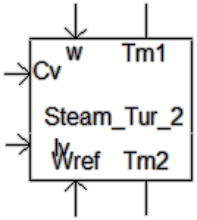
Пример модели синхронной машины с возбудителем, приводом от гидротурбины и навесными элементами на валу

EnLAB

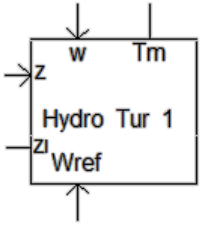
Компоненты механические



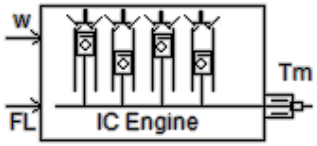
Ветротурбины



Паровые турбины

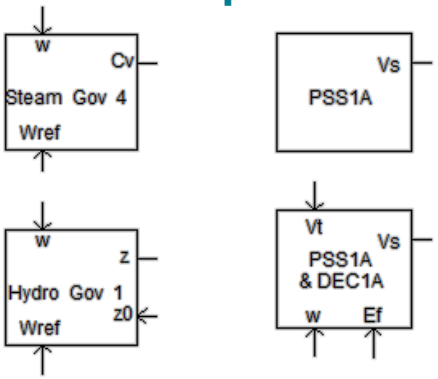


Гидротурбины

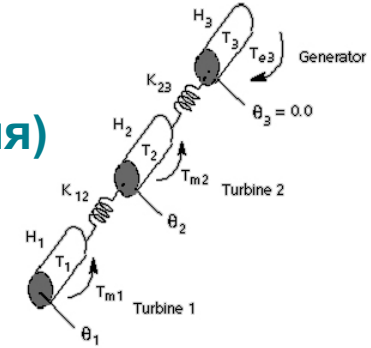


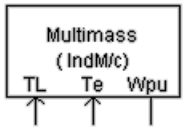
Дизельные двигатели (с моделированием пропусков воспламенения)

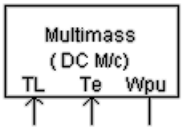
Механические регуляторы и стабилизаторы



Динамические модели валов

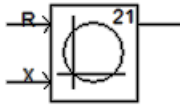




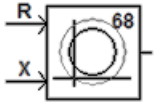


EnLAB

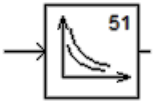
Устройства релейной защиты



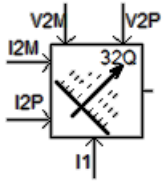
Дистанционная защита



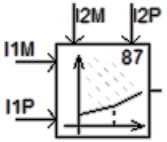
Блокировка при качаниях



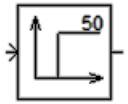
Максимальная токовая защита



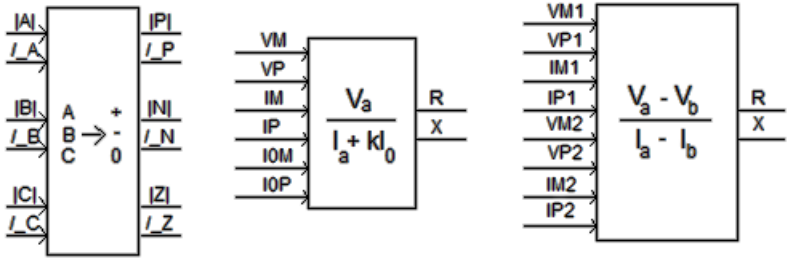
Направленная защита



Дифференциальная защита

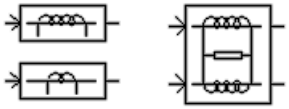


Токовая отсечка

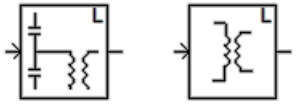


Модули вычисления импеданса и сигналов различных последовательностей (I0,I1,I2)

Измерительные трансформаторы с учетом характеристики насыщения



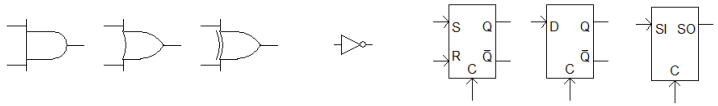
- Трансформаторы тока



- Трансформаторы напряжения

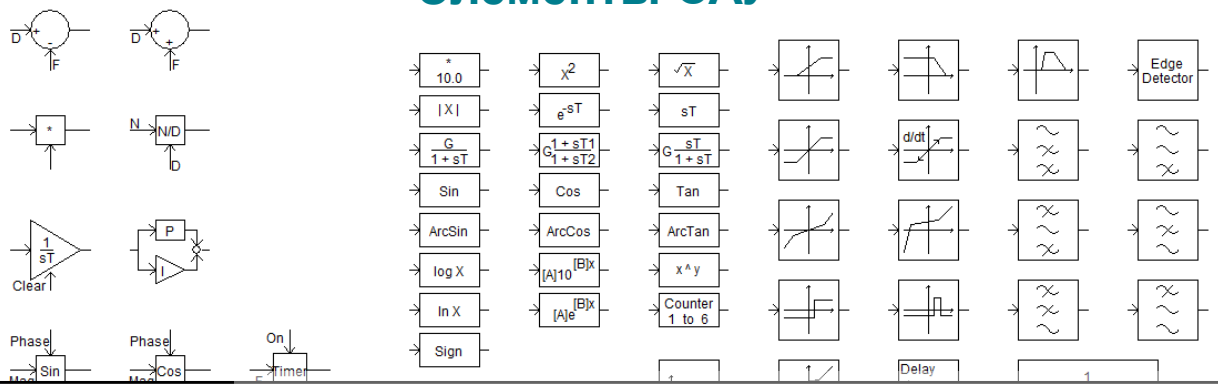
EnLAB

Логические элементы и элементы для построения систем автоматического управления

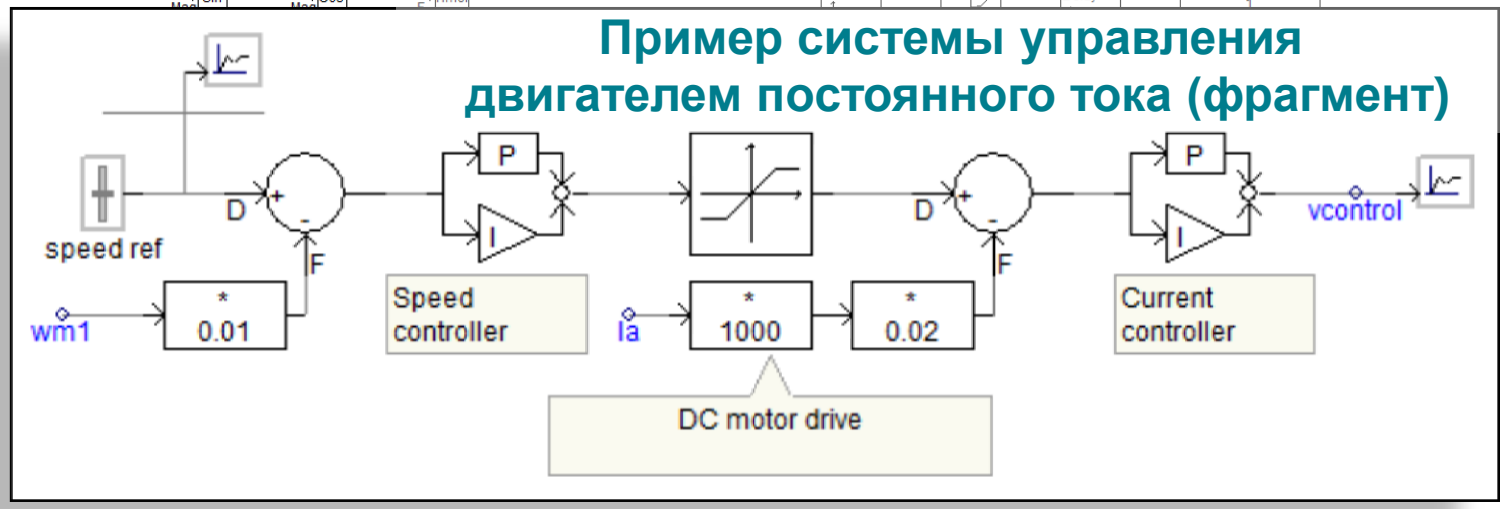


Логические элементы

Элементы САУ



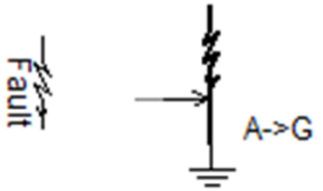
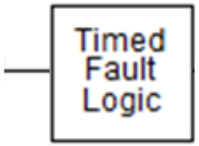
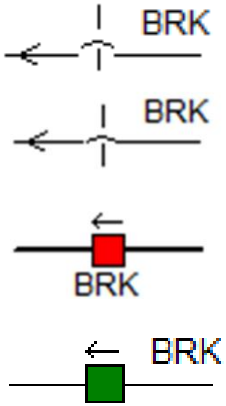
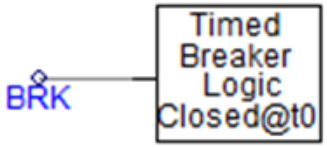
Пример системы управления двигателем постоянного тока (фрагмент)



EnLAB

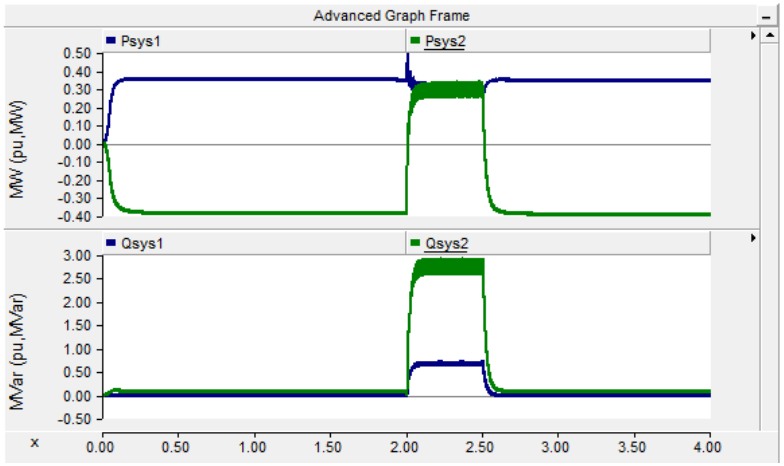
Элементы задания аварийных событий

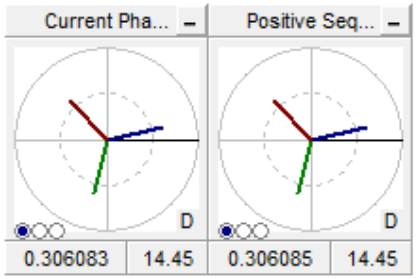
Для задания вида и места повреждений (аварий) используются специальные элементы

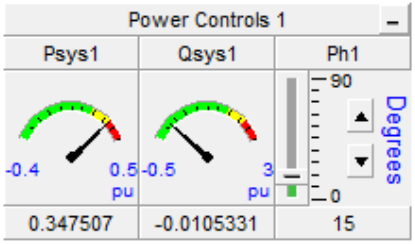
	Элементы управления электрическими цепями	Элементы задания момента возникновения события
Формирователь различных видов КЗ		
Выключатель для моделирования обрыва лини или подключения линии, источника или нагрузки		

Элементы управления моделью и отображения ее состояния

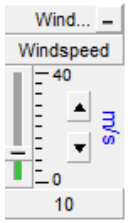
Визуализация измерений и построения графиков

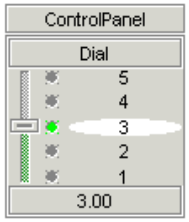


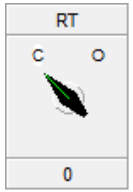


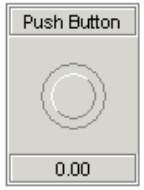


Элементы воздействия на состояние модели









Наглядность PSCAD обеспечивается за счет совмещения на рабочем поле схемы модели, элементов управления ею и элементов отображения результатов моделирования.

В процессе моделирования имеется возможность воздействия на модель и наблюдения за ее реакцией.

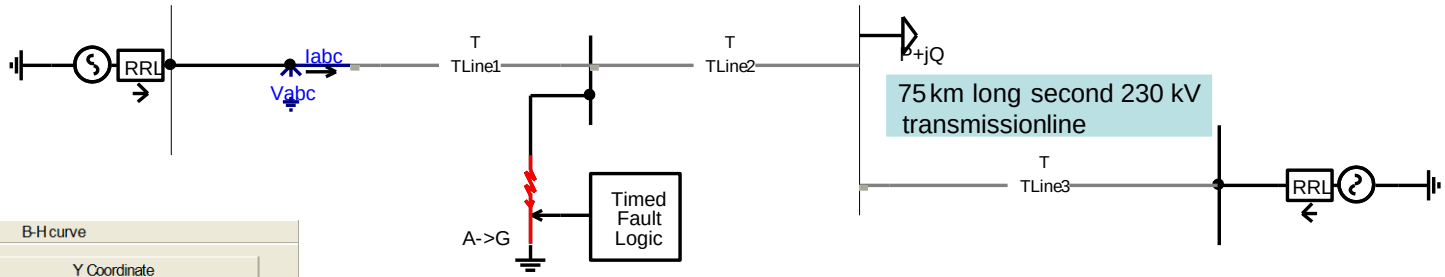
EnLAB

Примеры использования PSCAD

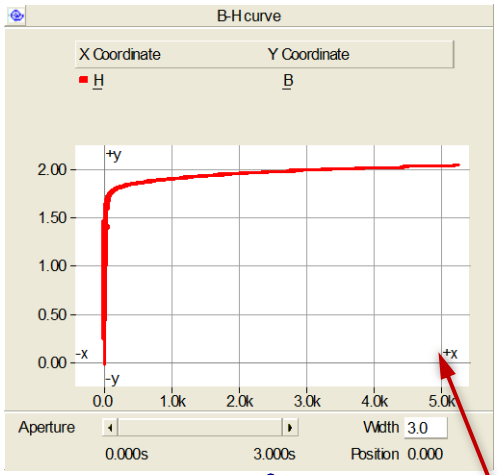
Исследование традиционных систем переменного тока

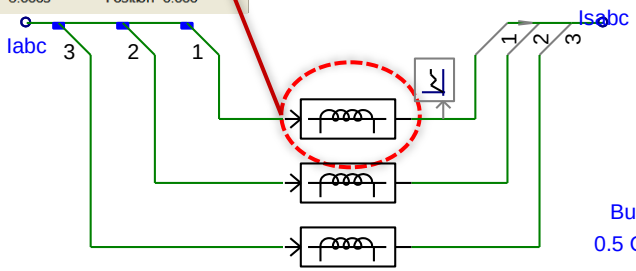
Пример анализа насыщения ТТ

200 km long 230kV transmissionline simulatedin two segmentsto facilitate applicationof faults at different point on the line

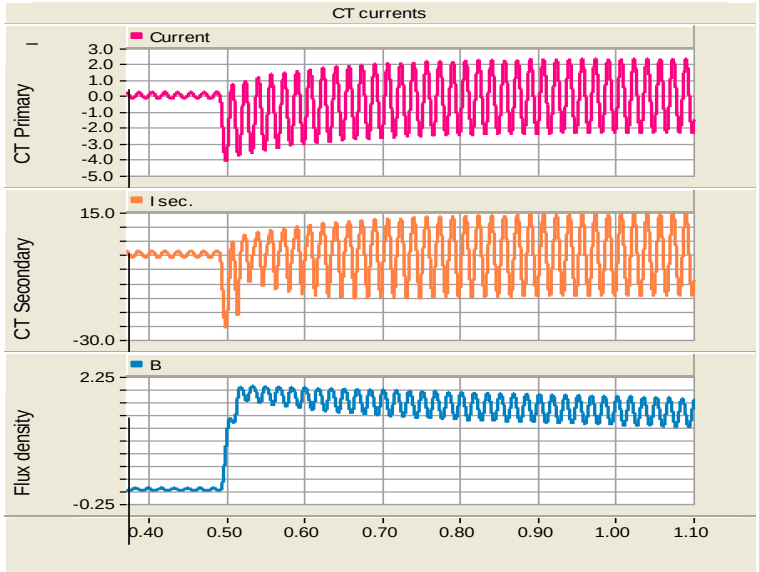


Fault at 0.4876s and 0.49167s





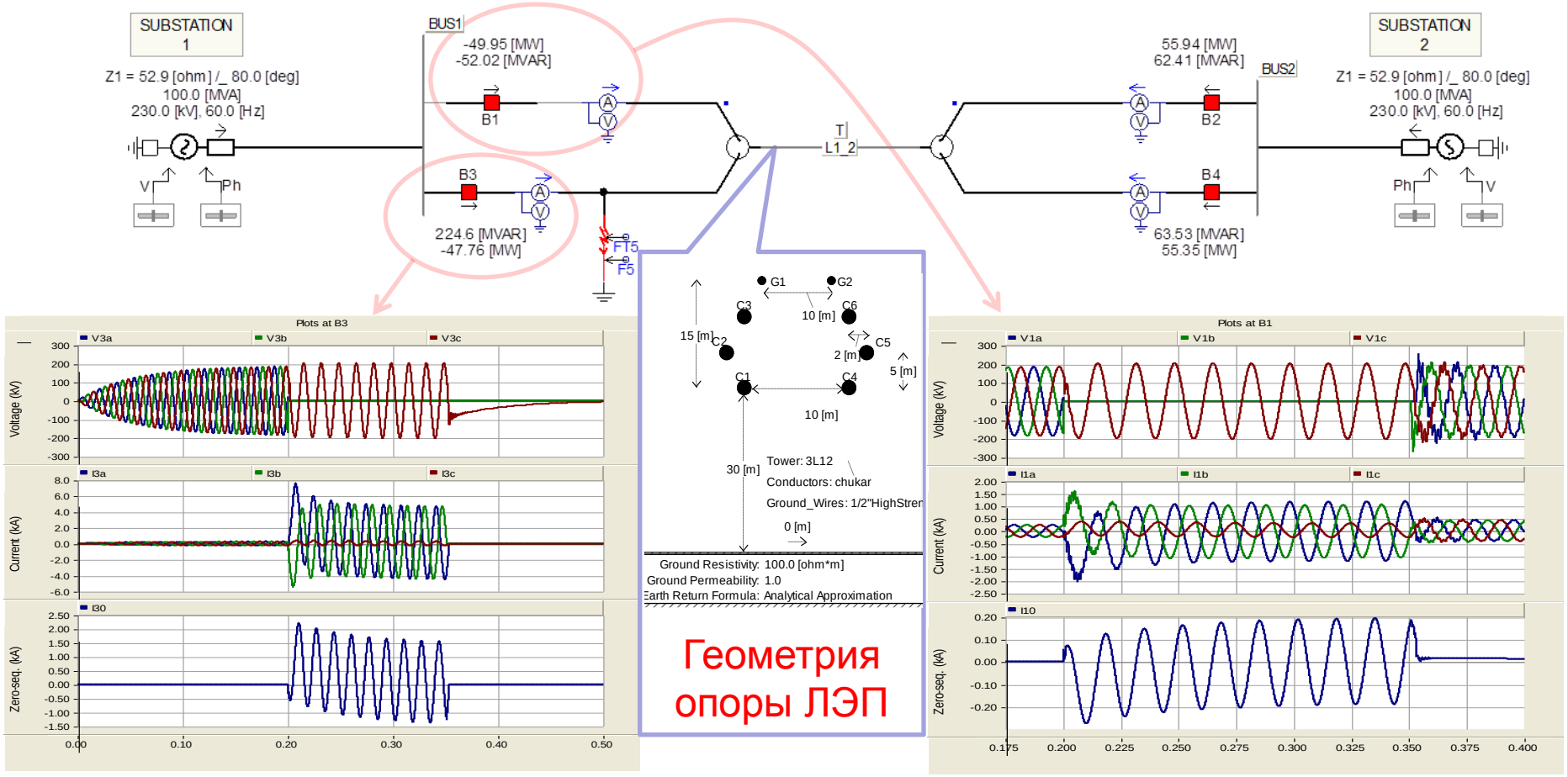
Burden resistance- 0.5 Ohm and 2.5 Ohm



EnLAB

Исследование традиционных систем переменного тока

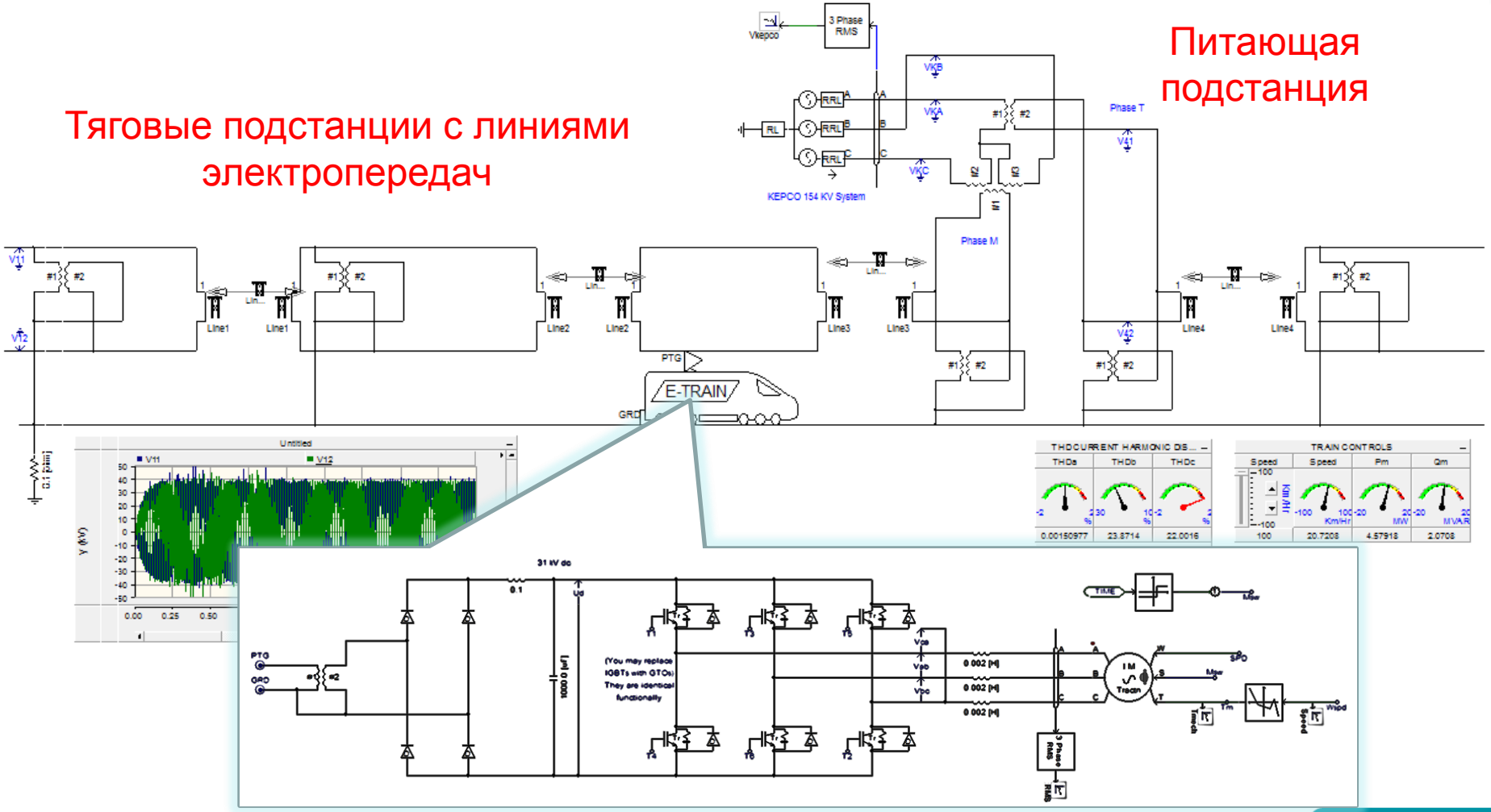
Пример анализа взаимоиндукции в ВЛ при авариях



Моделирование железнодорожного транспорта

Питающая подстанция

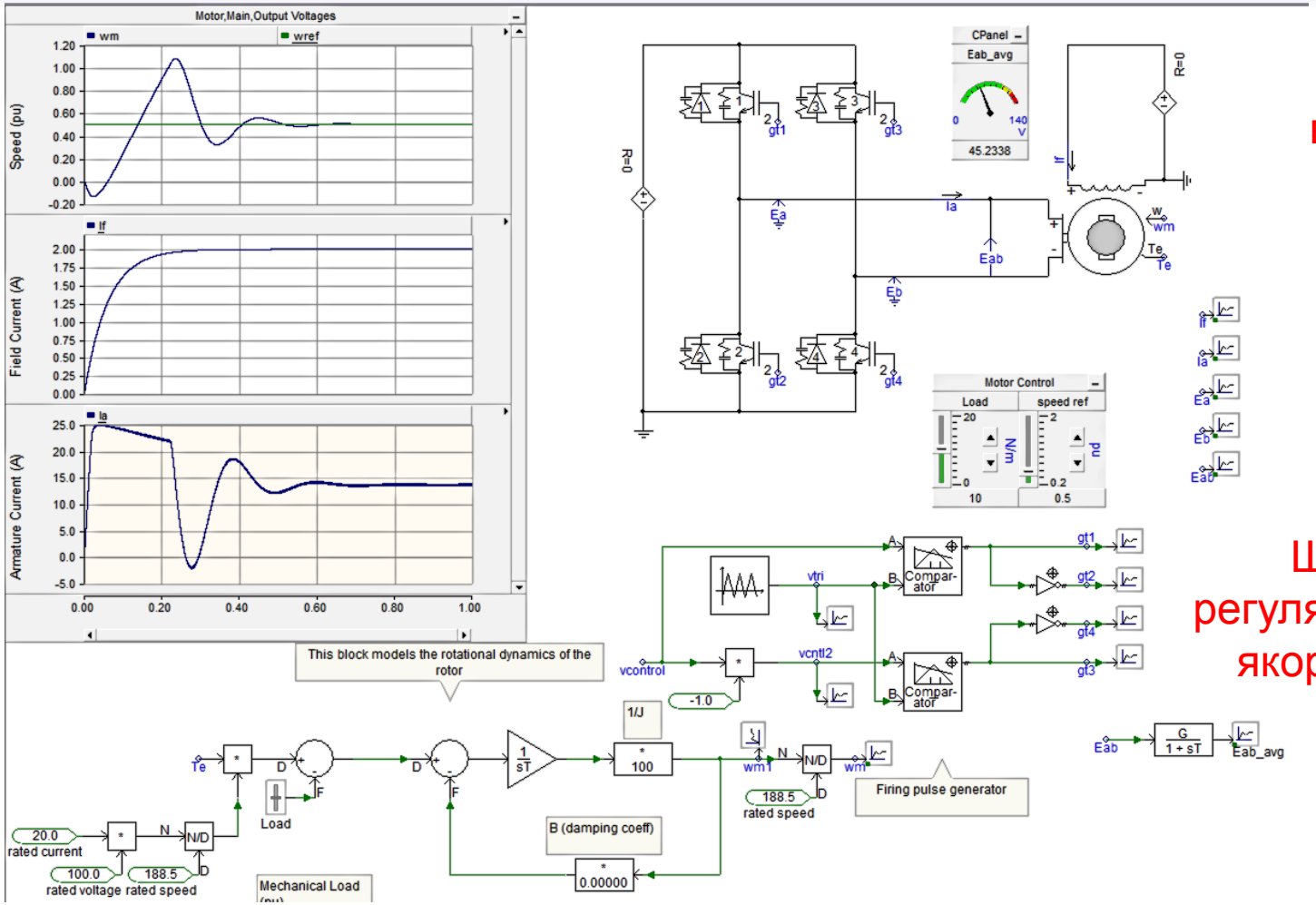
Тяговые подстанции с линиями электропередач



Локомотив. Модель тягового привода на базе АД

EnLAB

Моделирование электропривода постоянного тока



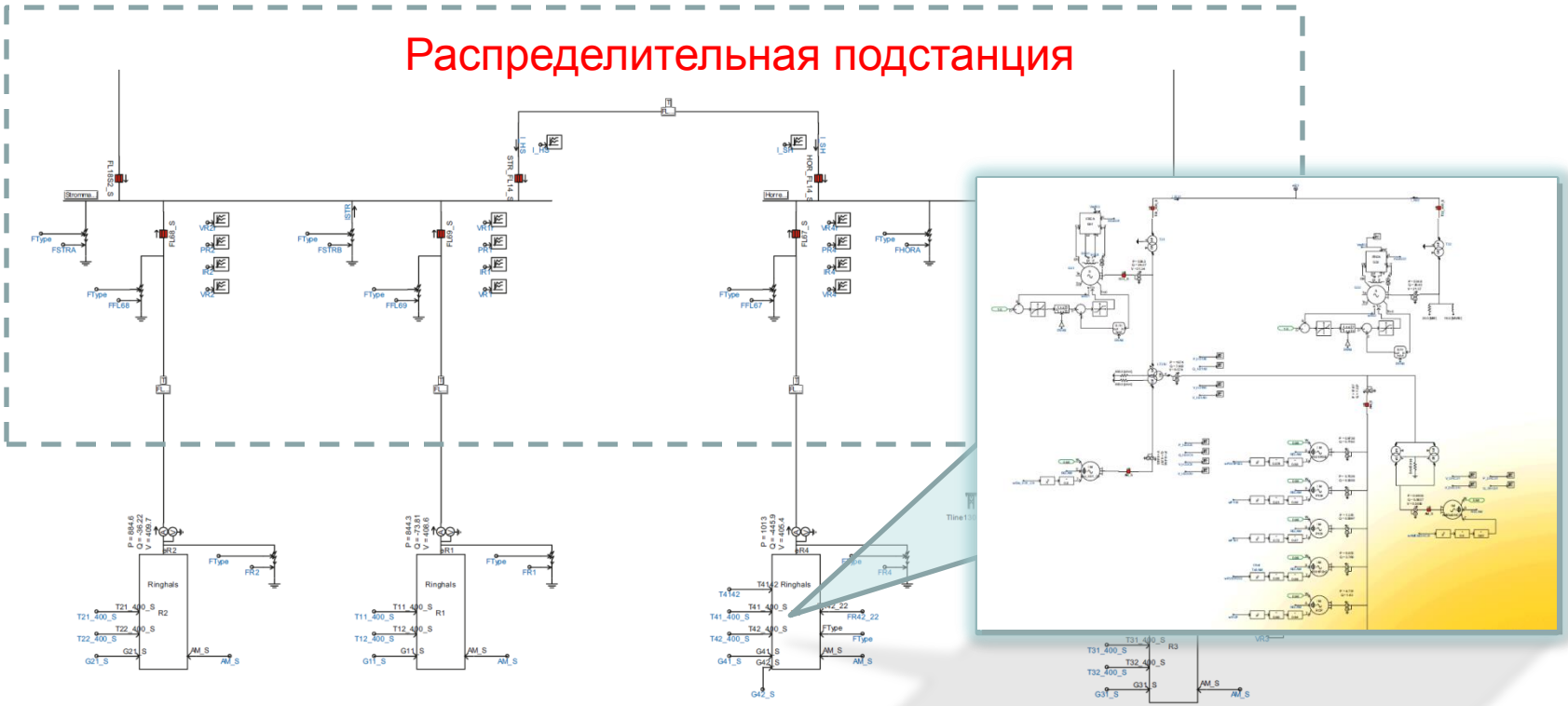
ДПТ с выходом в виде крутящего момента

ШИМ регулятор тока якоря ДПТ

Модель нагрузки как зависимость угловой скорости от момента

EnLAB

Моделирование сбоя в работе АЭС Рингхальс, Швеция, возникшего при сочетании сброса нагрузки АЭС и междуфазного КЗ



Энергоблок №1 Энергоблок №2 Энергоблок №3 Энергоблок №4

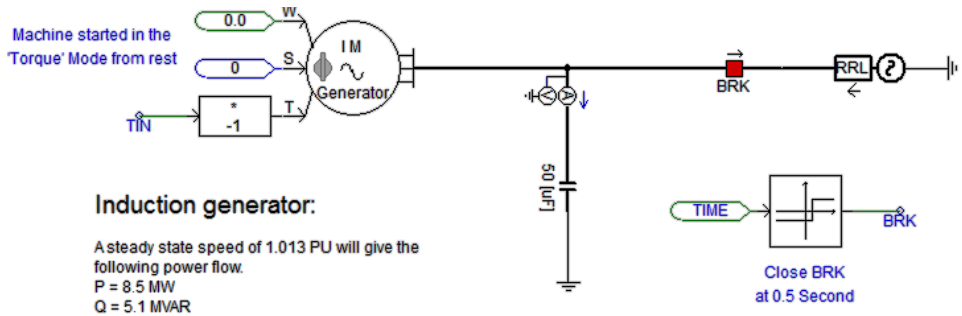
Подробный отчет по моделированию этой аварии приведен в журнале “The Pulse”.
https://hvdc.ca/uploads/ck/files/newsletters/Pulse_Jul2009.pdf

EnLAB

Моделирование дизельгенератора с имитацией пропусков воспламенения

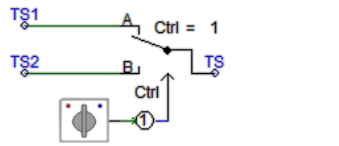
Асинхронный генератор

Нагрузка



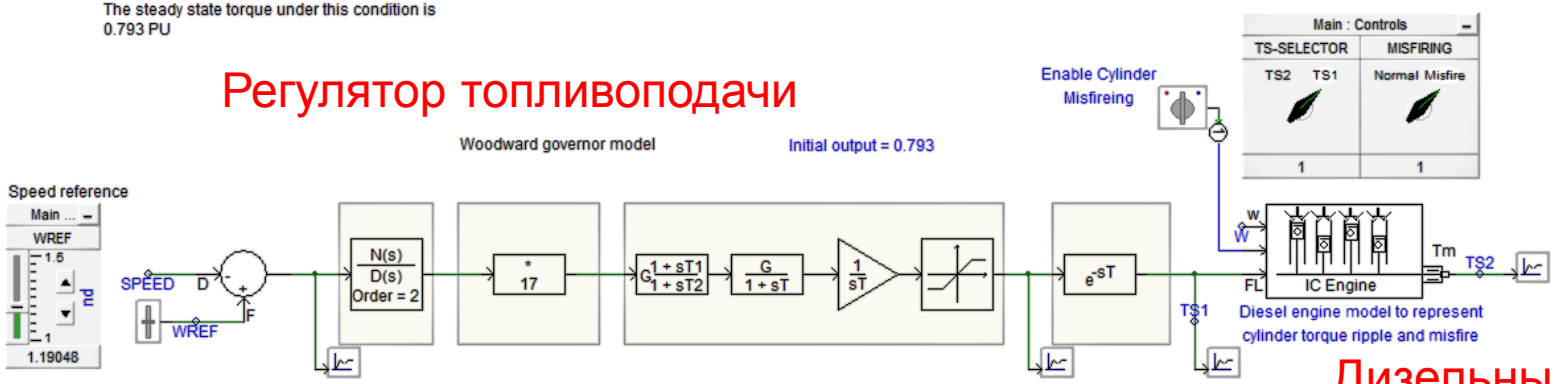
Induction generator:

A steady state speed of 1.013 PU will give the following power flow.
P = 8.5 MW
Q = 5.1 MVAR
The steady state torque under this condition is 0.793 PU



Select 'TS2' if IC Engine torque ripple to be included in the simulation.

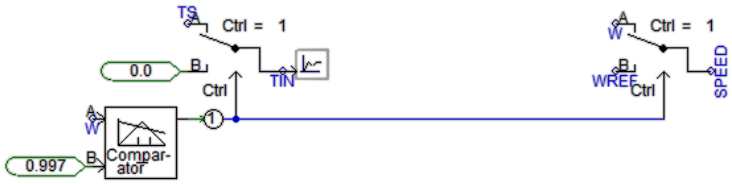
Регулятор топливоподачи

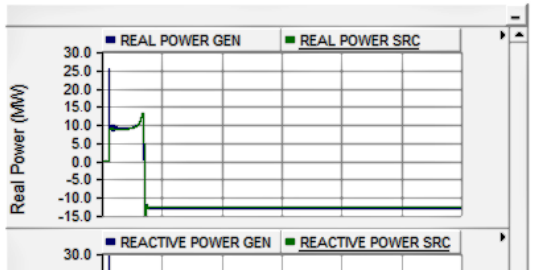


Дизельный мотор

Once the simulation has reached a steady state, change the speed reference to observe the governor response.

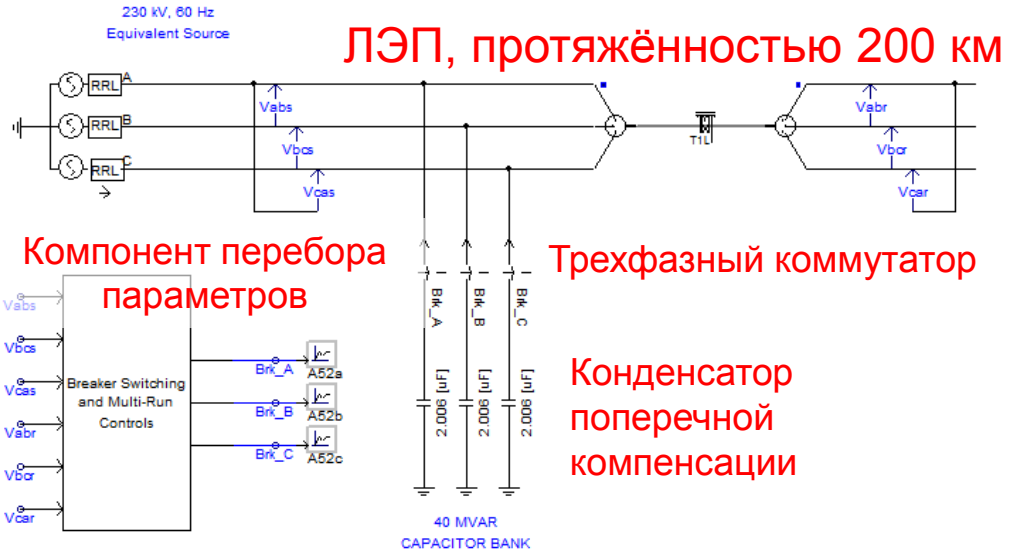
Simulation controls:

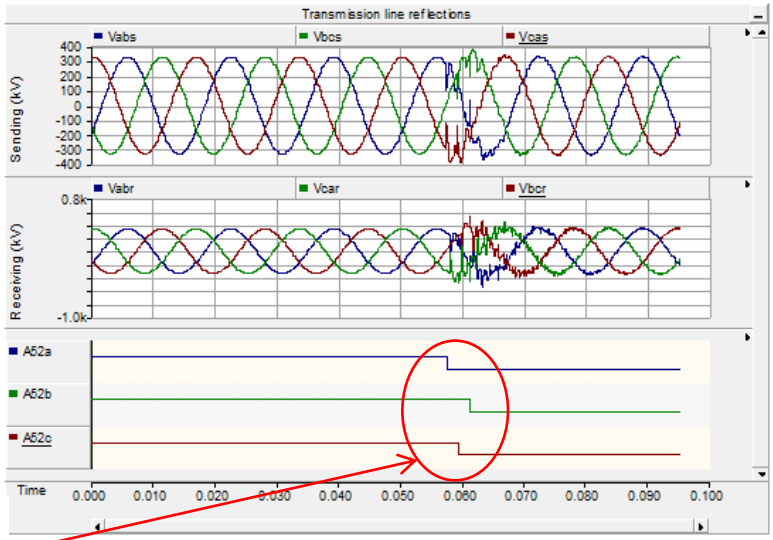




EnLAB

Определение наибольшего перенапряжения в ЛЭП при коммутации конденсаторов методом перебора





Неодновременность замыкания контактов

	Brka	Brkb	Brkc	Vsmax	Vrmax
Minimum:	0.7326057543	0.7320992058	0.7325514986	339.9464582	377.9119024
Maximum:	0.7480833061	0.7484166629	0.7482991235	420.7711263	653.0899413
Mean:	0.7402888877	0.7410905593	0.7398844304	376.5891845	526.4320454
Std Dev:	0.3701554424E-02	0.3810469673E-02	0.3787974784E-02	15.88599870	61.48722584
2% Level:	0.7326868242	0.7332648113	0.7321048812	343.9633315	400.1527205
98% Level:	0.7478909512	0.7489163074	0.7476639796	409.2150375	652.7113704

Probability Density Functions (%) for Variable 1, Vsmax

Centre of Range	Probability(%)	Cumulative Prob.(%)	100-Cumulative Prob.
343.9876916	7.200000000	7.200000000	92.80000000
352.0701584	6.400000000	13.60000000	86.40000000

Протокол моделирования

EnLAB

Референс-лист пользователей PSCAD в России

№	Предприятия, имеющие PSCAD	Год	Вид лицензии
1	ООО «**ИНТЭКО**», г. Санкт-Петербург	2005	1 профессиональная лицензия
2	ОАО «**ВНИИР**», г. Чебоксары	2008	4 профессиональные лицензии
3	НИУ «**МЭИ**», г. Москва	2013 2014	Образовательная лицензия на 25 мест 1 профессиональная лицензия
4	**НГТУ** , г. Новосибирск	2013	Образовательная лицензия на 10 мест
5	**ТПУ**, г. Томск	2013	Образовательная лицензия на 25 мест
6	**АмГУ**, г. Благовещенск	2013	Образовательная лицензия на 10 мест
7	**ЧувГУ** им. И.Н. Ульянова , г. Чебоксары	2013	Образовательная лицензия на 25 мест
8	ОАО «**ЭНИН** им. Г.М. Кржижановского», г. Москва	2014	1 профессиональная лицензия
9	**НГТУ** им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород	2014	Образовательная лицензия на 25 мест
10	ЗАО «**РАДИУС** Автоматика» г. Москва	2015	1 профессиональная лицензия
11	АНО "Энергетический колледж" г. Каспийск	2015	Образовательная лицензия на 10 мест
12	**ИГЭУ**, г. Иваново	2015	Образовательная лицензия на 10 мест
13	**КубГТУ**, г. Краснодар	2015	Образовательная лицензия на 25 мест
14	**ДВФУ** г. Владивосток	2015	Образовательная лицензия на 10 мест
15	**ЮРГПУ** (НПИ) г. Новочеркасск	2015	Образовательная лицензия на 10 мест
16	**АУЭС**, г. Алмата , Казахстан	2016	Образовательная лицензия на 10 мест
17	**АГНИ**, г. Альметьевск	2017	1 профессиональная лицензия Образовательная лицензия на 25 мест
18	**КГЭУ**, г. Казань	2017	Образовательная лицензия на 25 мест
19	**РКСС**, г.Москва	2018	1 профессиональная лицензия

EnLAB

Референс-лист пользователей PSCAD в мире

По состоянию на 2016 год более **4200** лицензиатов из **85** стран приобрели PSCAD для обеспечения более **40 000** рабочих мест.

№	Страна	Лицензиатов / Лицензий	№	Страна	Лицензиатов / Лицензий	№	Страна	Лицензиатов / Лицензий
1	США	**536** / 3960	16	Дания	**57** / 917	**31**	**Россия**	**16 / 204**
2	Индия	**461** / 7243	17	Финляндия	**56** / 443	32	Греция	**16** / 196
3	Япония	**460** / 2701	18	Польша	**42** / 350	33	Румыния	**15** / 355
4	Китай	**429** / 2249	19	Таиланд	**41** / 809	34	Словения	**14** / 320
5	Южная Корея	**272** / 1965	20	Саудовская Аравия	**41** / 166	35	Колумбия	**14** / 196
6	Канада	**265** / 2691	21	Тайвань	**38** / 185	36	Шри Ланка	**13** / 268
7	Великобритания	**186** / 1947	22	Франция	**37** / 156	37	Индонезия	**13** / 232
8	Германия	**125** / 571	23	Турция	**36** / 529	38	Швейцария	**13** / 22
9	Швеция	**124** / 662	24	Италия	**35** / 492	39	Бельгия	**12** / 154
10	Испания	**119** / 1209	25	ОАЭ	**34** / 161	40	Египет	**10** / 332
11	Бразилия	**108** / 1011	26	Нидерланды	**32** / 299	41	Чили	**9** / 183
12	Малайзия	**103** / 1107	27	Сингапур	**25** / 238	42	Пакистан	**8** / 138
13	Австралия	**88** / 1054	28	Новая Зеландия	**25** / 195	43	Южная Корея	**8** / 41
14	Мексика	**67** / 349	29	Норвегия	**25** / 146	44	Филиппины	**8** / 17
15	ЮАР	**66** / 917	30	Иран	**21** / 937	45	Эстония	**7** / 212

EnLAB

Описание учебного стенда

Стенд поставляется вместе с программным симулятором PSCAD и позволяет моделировать рабочие процессы в электрических сетях и системах любой конфигурации.

Основные компоненты модели:

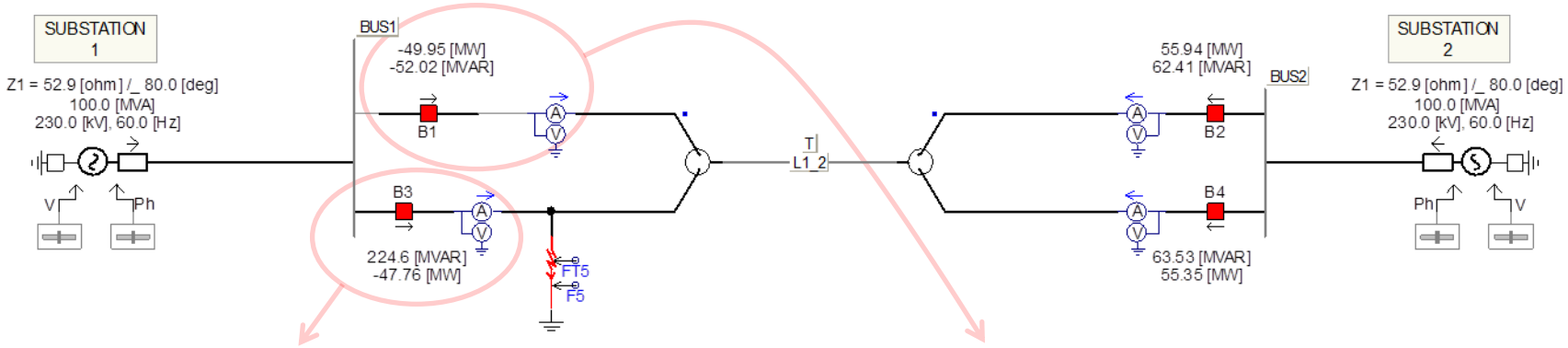
- генераторы и источники;
- силовые и измерительные трансформаторы;
- воздушные и кабельные линии;
- электродвигатели и прочие потребители.
- системы поддержания качества ЭЭ.

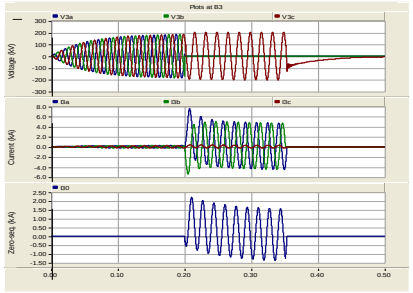
Предусмотрено регулирование параметров компонентов.

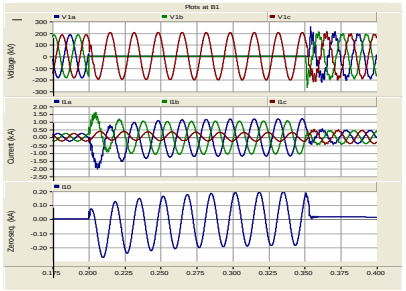
EnLAB

Описание учебного стенда

В стенде используется цифровая модель энергосистемы.

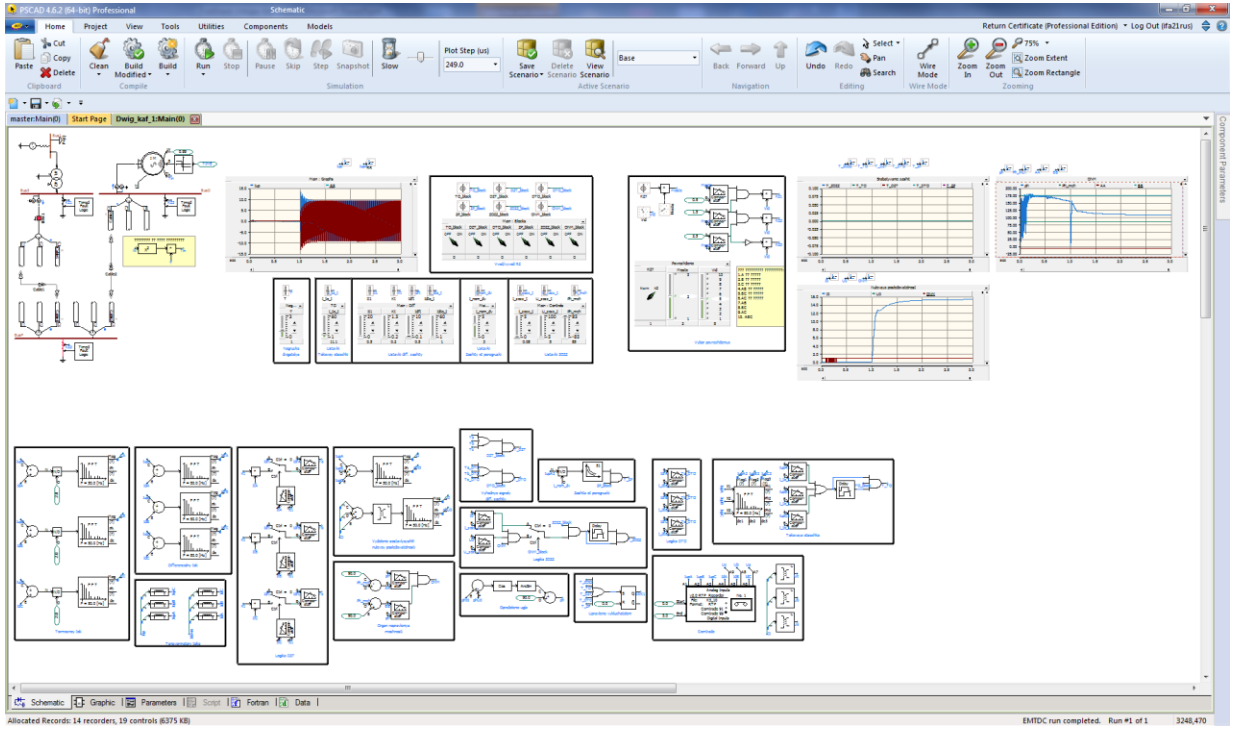






Описание учебного стенда

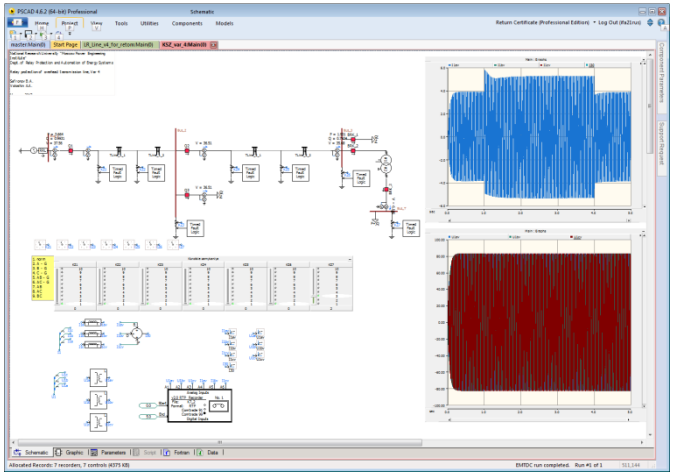
В стенде также используется модель виртуального устройств РЗА, на котором можно наблюдать эталонное действие РЗА.



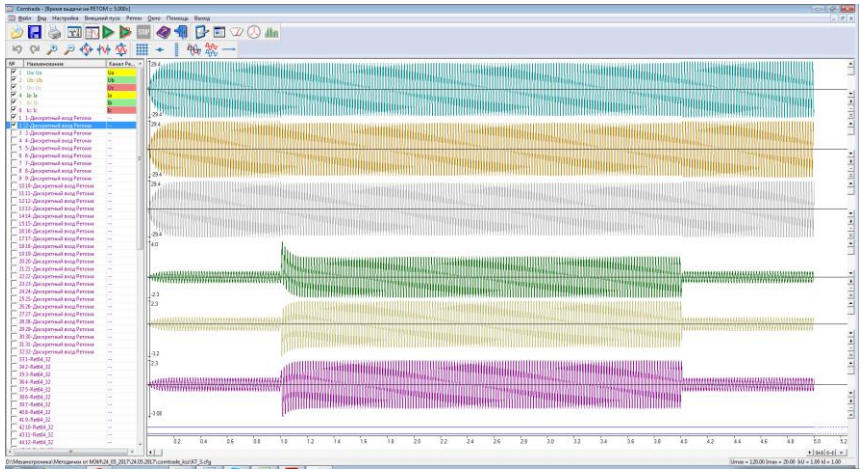
EnLAB

Описание учебного стенда

Симулятор выполняет расчет переходных процессов и записывает их в виде COMTRADE файлов. Эти файлы затем воспроизводятся через устройство проигрывания типа РЕТОМ-61, который подключен к проверяемому устройству РЗА.



COMTRADE



Описание учебного стенда

Работа со стендом производится удаленно с рабочего места по локальной сети Ethernet. Студенты имеют возможность визуально наблюдать за стендом.

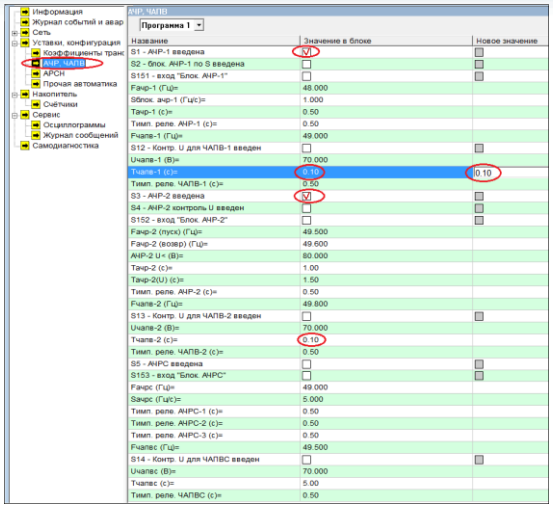
EnLAB

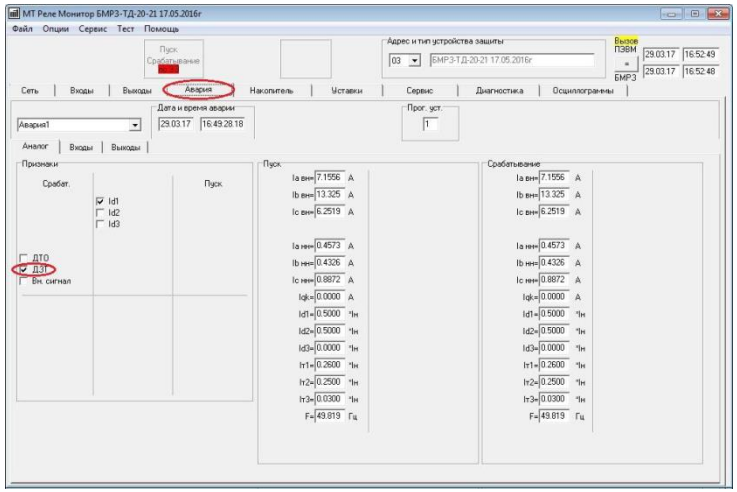
Описание учебного стенда

Обучающиеся приобретают навыки работы в программном обеспечении:

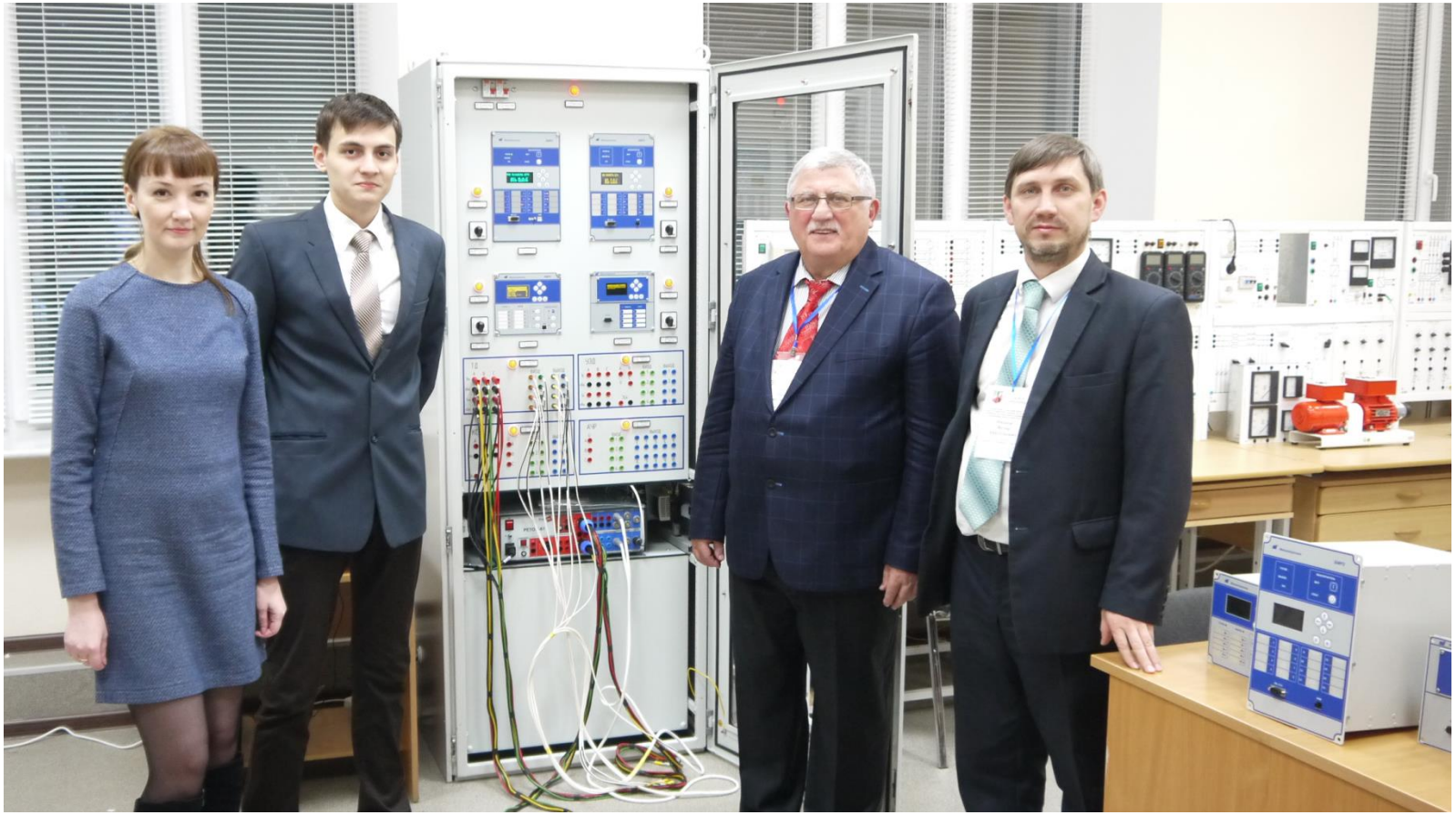
- симулятора PSCAD;
- управления устройством РЕТОМ или аналогичным;
- управления устройством РЗА для:
  - ❑ изменения конфигурации,
  - ❑ просмотр событий журнала,
  - ❑ считывание записей аварий.

А также получают практический опыт по расчету уставок.





Пример реализации. «АГНИ», г. Альметьевск



EnLAB

Достоинства стендов

1. Формирование у обучаемых полной картины процессов в первичных цепях и действия вторичного оборудования.
2. Высокое соответствие сигналов, воздействующих на РЗА, реальным сигналам.
3. Возможность изучения разных видов устройств РЗА. Позволяет заменить большое число специализированных стендов.

Достоинства стендов

4. Возможность изучения влияния на функционирование РЗА целого ряда разнообразных факторов, например, насыщения ТТ.
5. Можно легко осуществлять модернизацию и усовершенствование стендов.
6. Использование стендов позволяет повысить динамичность и наглядность занятий.

Достоинства стендов

Стенды могут использоваться:

- для обучения студентов вузов;
- Для выполнения квалификационных и научно-исследовательских работ.
- для повышения квалификации персонала энергопредприятий.

На основе полученных решений могут быть разработаны стенды для изучения других энергетических и электротехнических дисциплин, других видов электрооборудования.

EnLAB

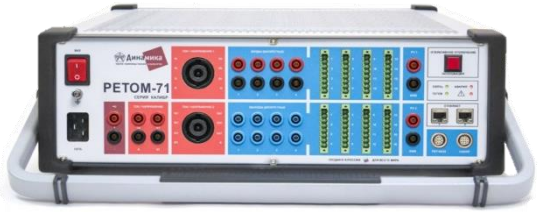
Наши предложения.

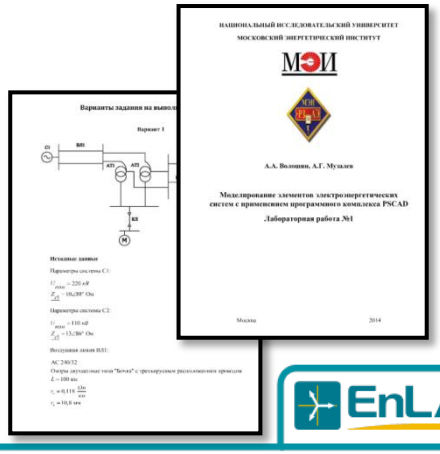
Мы предлагаем поставку стендов по индивидуальному дизайну в составе:

- Стенд с устройствами РЗА и ПК
- Программный симулятор PSCAD
- Проверочное устройство
- Методики проведения обучения, разработанные на кафедре «РЗ и АС» НИУ «МЭИ», г. Москва.
- Ввод в эксплуатацию, обучение и техническую поддержку.

PONOVO PW336i

РЕТОМ-71





Вопросы для обсуждения

- Аппаратная часть стенда:
  - разработка;
  - изготовление.
- Схемы электрические сети и режимов ее работы.
- Сроки изготовления стенда.
- Финансирование проекта.

EnLAB

Спасибо за внимание!

С уважением ЗАО «ЭнЛАБ»

Сайт: www.ennlab.ru энлаб.рф
Эл-почта: mail@ennlab.ru
Телефон: (8352) 40-66-26

EnLAB