НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОПОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Использование симулятора PSCAD в образовательных целях и для научных исследований

Докладчик:
Лоскутов Антон Алексеевич, к.т.н.,
доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника»

15-18 декабря 2020 г.
Веб-конференция «Особенности использования симуляторов энергосистем RTDS и PSCAD при выполнении научных исследований и в учебном процессе»

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Программный комплекс PSCAD используется для подготовки бакалавров и магистров по направлению **13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»** при проведении лабораторных и практических работ по дисциплинам:

- Компьютерное моделирование систем электроснабжения;
- Автоматизация систем электроснабжения;
- Программные продукты в электроэнергетике;
- Применение ЭВМ.

Достоинства имитационного моделирования в PSCAD:

- моделирование не требует прерывания текущей деятельности реального объекта;
- динамический характер отображения процессов в моделируемом объекте;
- использование в качестве средства обучения, как альтернатива лабораторным стендам;
- возможность учета большого числа случайных факторов;
- возможность проведения статистических экспериментов;
- сравнительная простота введения модификаций в модель;
- возможность управлять масштабом времени.

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

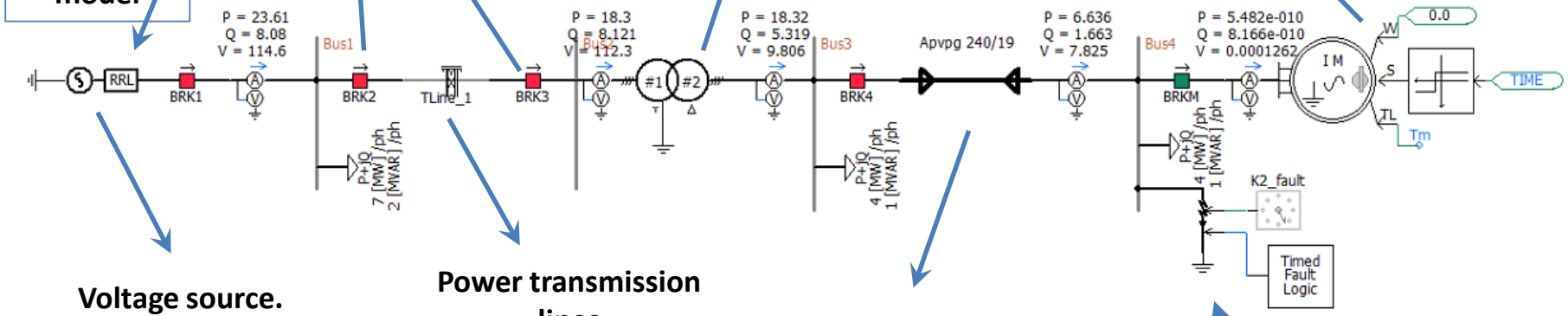
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

High-voltage breaker

Transformer 110/10 kV

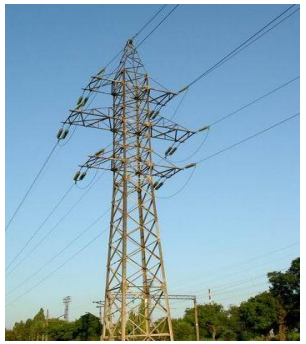
Induction machine

Electric network model



Voltage source. Generation.

Power transmission lines



Cable 10 kV

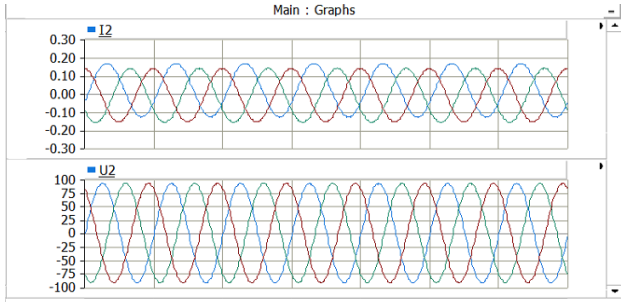
Fault point

- Ознакомление с функциональными возможностями PSCAD;
- Создание базовых моделей, систем электроснабжения;
- Знакомство с библиотеками;
- Поиск исходных данных для моделирования компонентов модели;
- Исследование электромагнитных переходных процессов

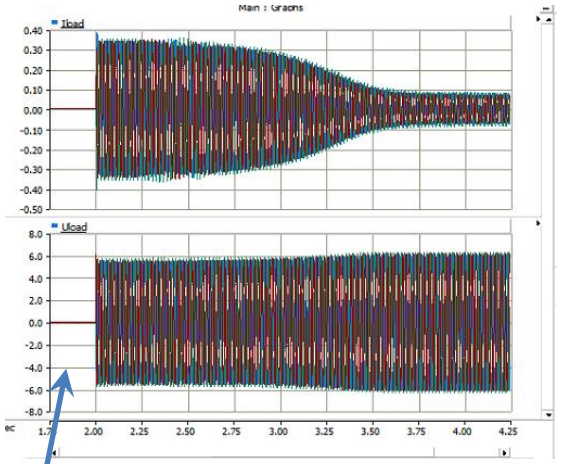
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

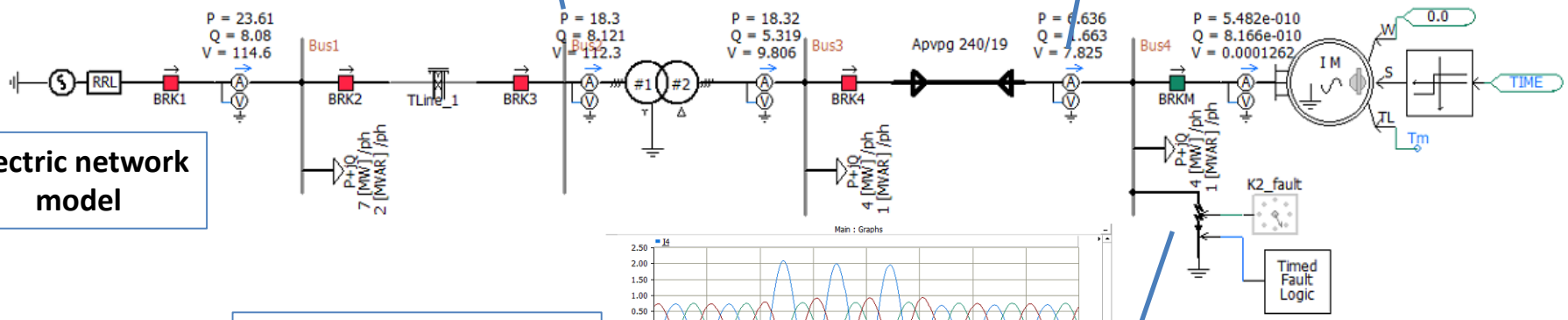
Current and voltage signals. Normal mode.



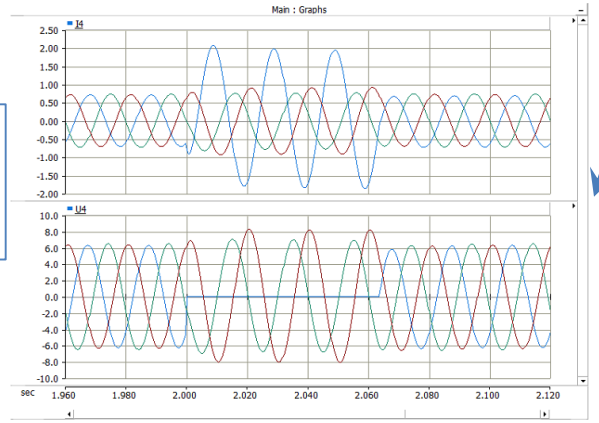
Current and voltage signals when the motor starts



Electric network model



Current and voltage signals. Single-phase earth fault



- Анализ результатов моделирования по осциллограммам
- Верификация результатов
- Корректировка параметров моделирования

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

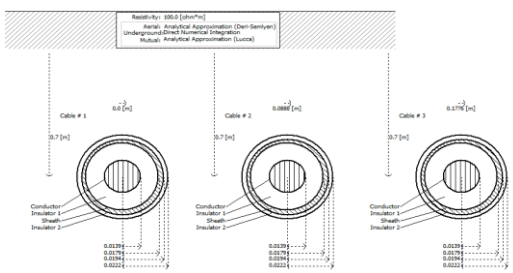
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

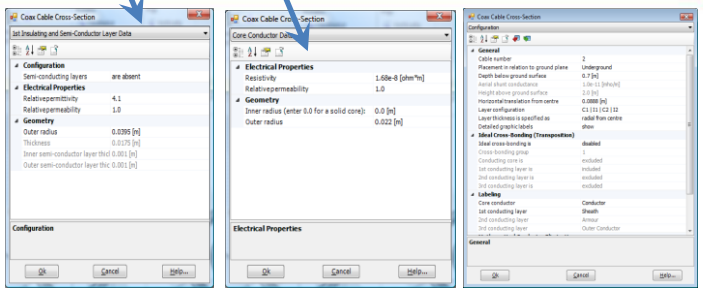
Программа Microsoft Excel – база данных для формирования исходных данных для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

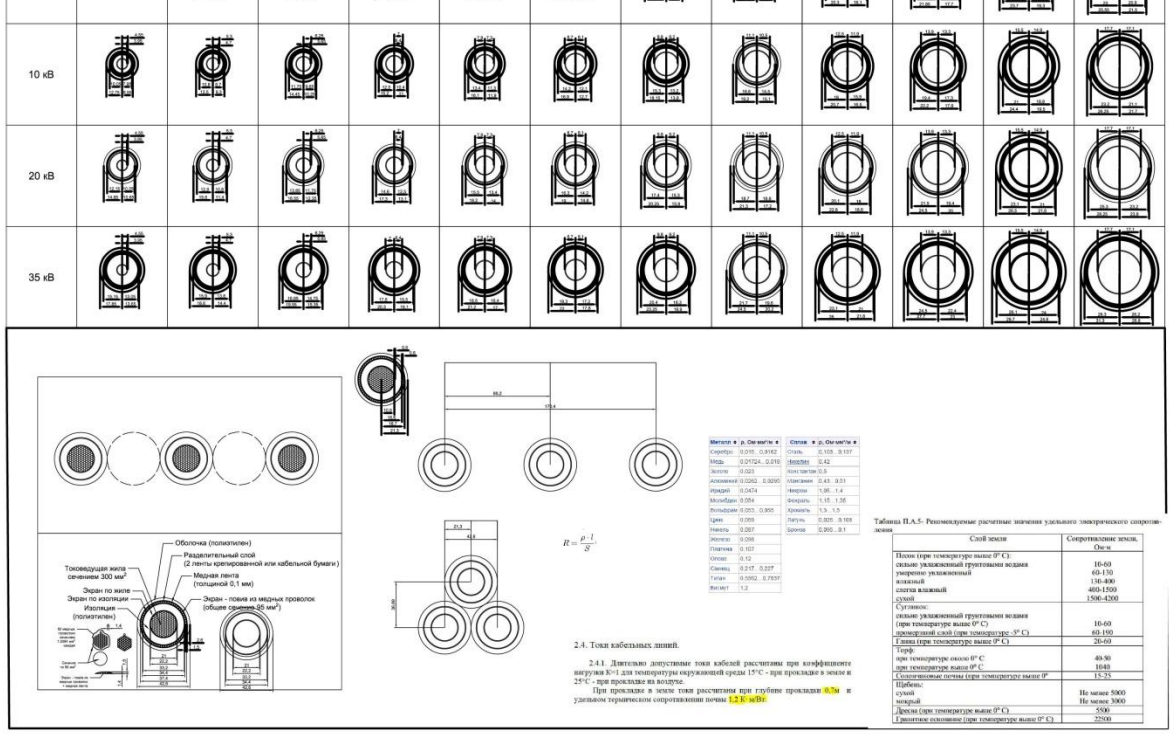
Параметры кабеля для PSCAD

Параметр	Значение		
Сечение кабеля	240	мм2	Рассматриваемое сечение кабеля (аллюминий)
Сечение токопроводящего экрана	16	мм2	Рассматриваемое сечение экрана кабеля (медь)

Параметр	Значение	Ед. измерения	Обозначение	Описание
Layer Thickness is Specified As	radial from centre			
Core Conductor Data				
Resistivity	3,864	10^(-8)*Ом*м		Объемное сопротивление сердечника
Relative Permeability	1,000022	о.е.		Магнитная проницаемость для аллюминия
Inner Radius	0	м		Внутренний радиус (не задается)
Outer Radius	0,0092	м	R1	Радиус токопроводящей жилы
1st Insulating Layer Data				
Semi-Conducting Layers	are present			Отображение толщины слоев радиальным способом
Relative Permittivity	2,28	о.е.		Диэлектрическая проницаемость полиэтилена
Relative Permeability	1	о.е.		Магнитная проницаемость полиэтилена
Outer Radius	0,0153	м	R2	Внешний радиус изоляции
Thickness	0,0055	м		Толщина изоляции
Inner Semi-Conductor Layer Thickness	0,0006	м	L1	Толщина полупроводникового экрана по жиле
Outer Semi-Conductor Layer Thickness	0,0006	м	L2	Толщина полупроводникового экрана по изоляции
1st Conducting Layer Data				
Resistivity	1,8	10^(-8)*Ом*м		Объемное сопротивление медного экрана
Relative Permeability	0,999994	о.е.		Магнитная проницаемость для меди
Outer Radius	0,01606	м	R3	Внешний радиус медного экрана
2nd Insulating Layer Data				
Relative Permittivity	2,3	о.е.		Диэлектрическая проницаемость полиэтилена
Relative Permeability	1	о.е.		Магнитная проницаемость полиэтилена
Outer Radius	0,02025	м	R4	Внешний радиус кабеля







ТУ 16.К71-335-2004

1 — токопроводящая жила
2 — герметизирующий слой
3 — изоляция из сшитого полиэтилена
4 — экран по изоляции
5 — разделительный слой из водоблокирующей ленты
6 — экран из медных проволок
7 — разделительный слой
8 — герметизирующий слой из алюмополимерной ленты
9 — оболочка из полиэтилена

Марка	Число жил	Сечение, мм²
АПвПг, АПвПуг, АПвП2г, АПвПу2г	1	35,0—1000,0
	3	35,0—240,0

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Курсовой проект с использованием PSCAD по дисциплине «Применение ЭВМ в электроэнергетике»

Часть №1 - стандартная

Часть №2 - индивидуальная

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

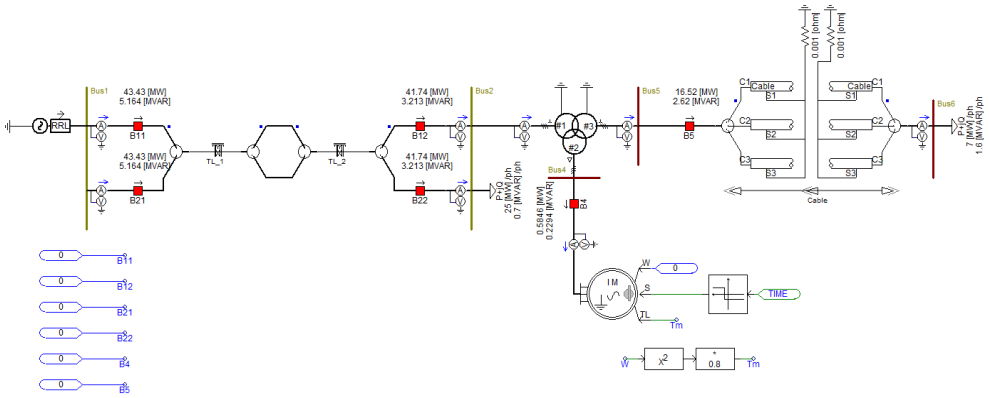
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

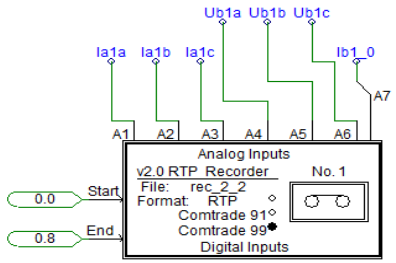
Курсовой проект с использованием PSCAD по дисциплине «Применение ЭВМ в электроэнергетике»

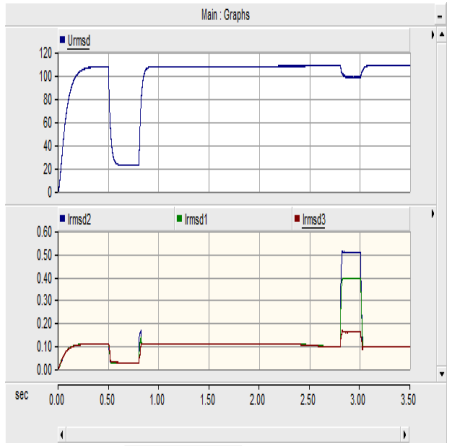
Часть №1 - стандартная

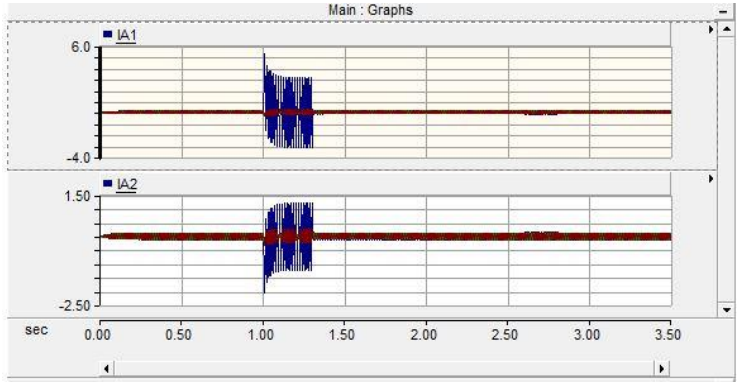
«Исследование электромагнитных переходных процессов в системе электроснабжения»

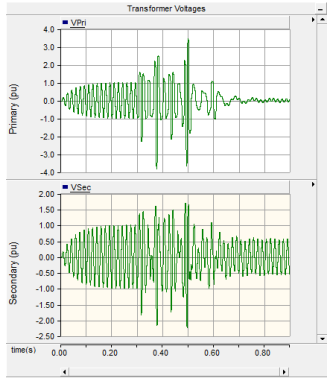
- **Создание модели СЭС по заданию;**
- **Моделирование первичных измерительных преобразователей;**
- **Эксперименты по аварийным режимам (различные виды КЗ);**
- **Формирование осциллограмм нормальных и аварийных значений сигнала;**
- **Создание устройства записи осциллограмм (COMTRADE RECORDER);**
- **ОМП по записанным осциллограммам с помощью программы FastView**

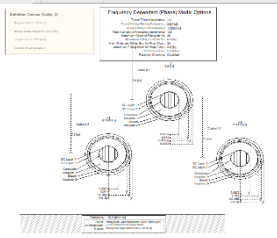












НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Курсовой проект с использованием PSCAD по дисциплине «Применение ЭВМ в электроэнергетике»

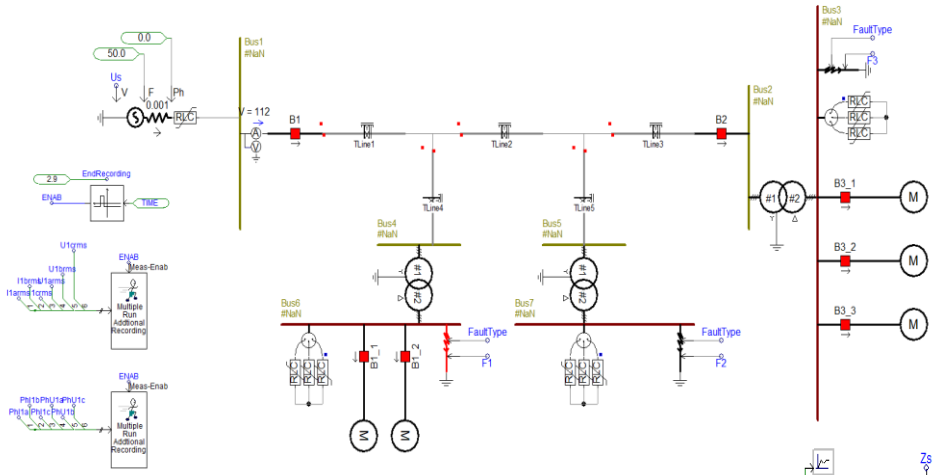
Часть №2 - индивидуальная

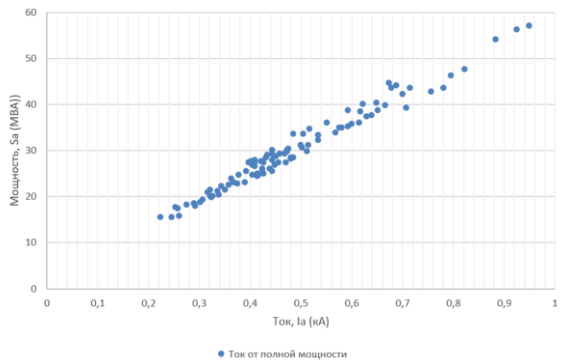
«Моделирование в рамках темы научного исследования»

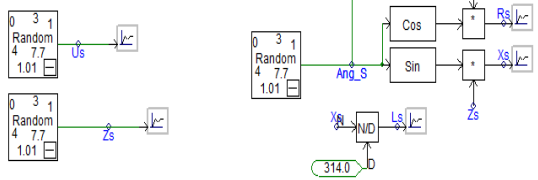
Примерные темы:

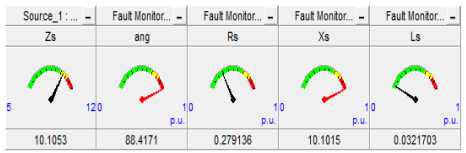
- **Анализ волновых процессов для определения факта наличия повреждения в программном комплексе PSCAD**
- **Составление статистической выборки данных электрической сети с использованием возможности множественного расчета в PSCAD**
- **Исследование качества электроэнергии с системе электроснабжения**
- **Исследование индукционного генератора, приводимого в движение ветровой турбиной**
- **Дизельный двигатель как первичный двигатель асинхронного генератора**
- **Исследование синхронной машины с использованием стабилизатора энергосистемы**
- **Инициализация настроек регулятора ветряной турбины**
- **Анализ схемы однополупериодного выпрямителя, реализованного на GTO тиристоре в программном пакете PSCAD**
- **Промежуточный понижающий преобразователь постоянного тока**
- **Реактор с тиристорным управлением**
- **Исследование феррорезонанса в ПК PSCAD**
- **Моделирование преобразователя источника напряжения (VSC)**
- **Насыщение трансформаторов тока**
- **Исследование конденсаторной батареи в программном комплексе PSCAD**

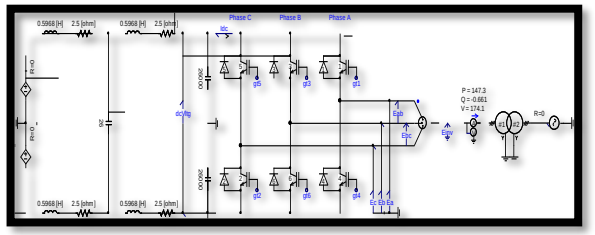
и др.

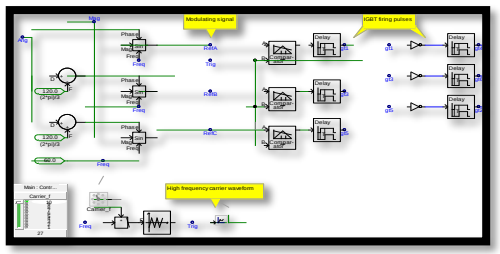






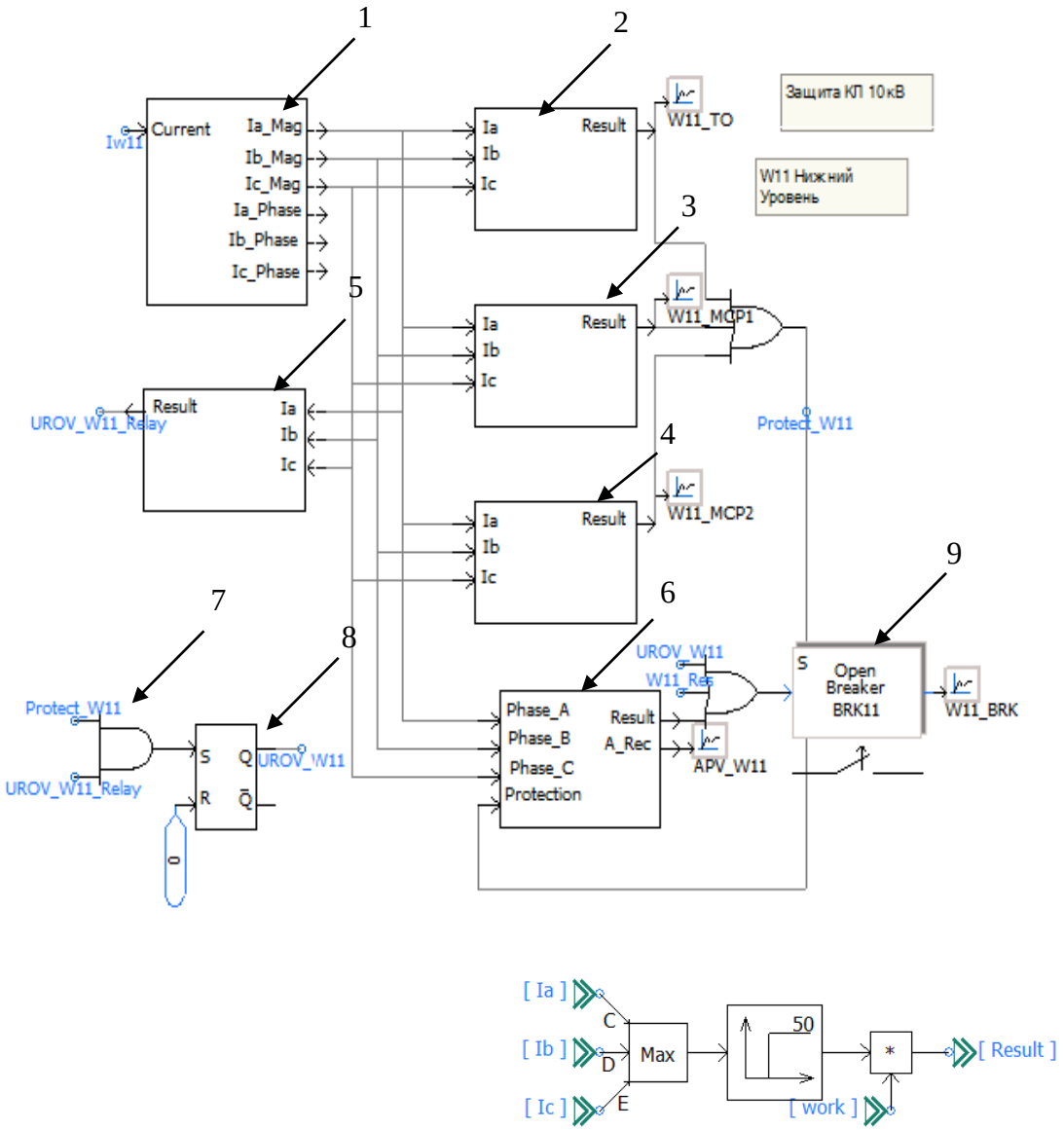






Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование релейной защиты ЛЭП 10 кВ

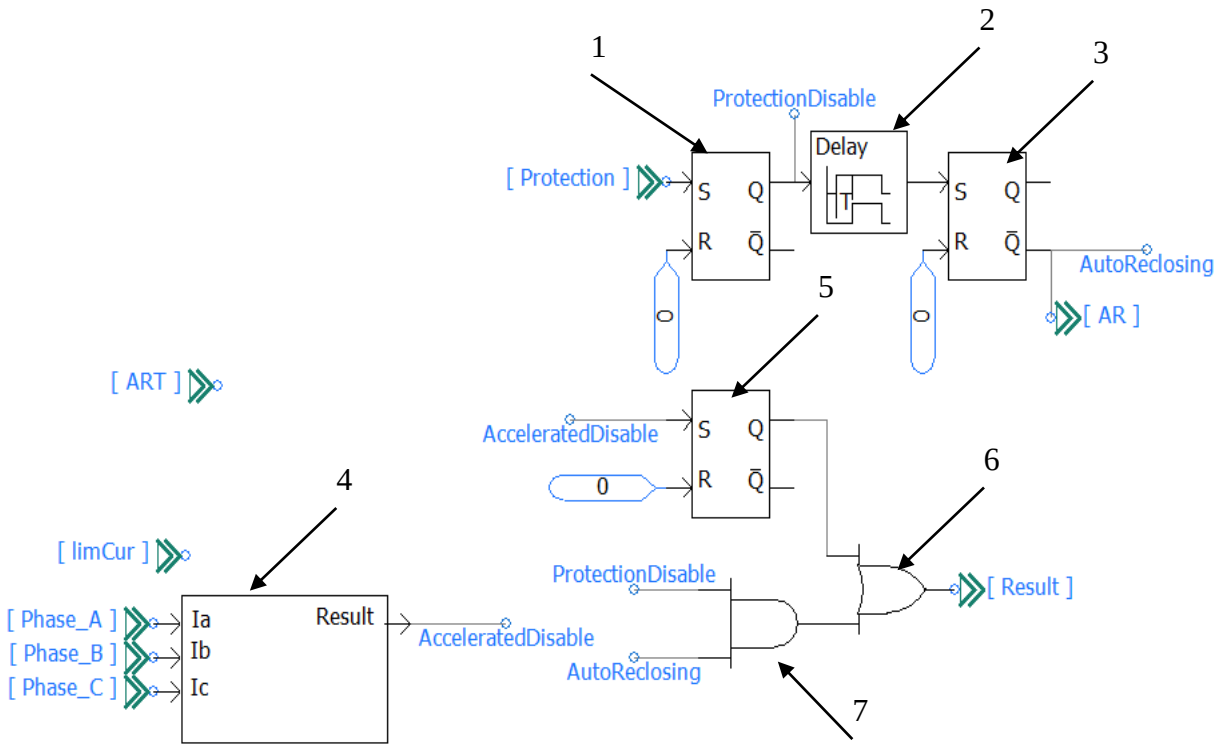


1 – блок, реализующий АЦП сигнала с трансформаторов тока (ТТ) для цифровых реле;
2 – блок, реализующий алгоритм токовой отсечки (ТО);
3 – блок, реализующий алгоритм работы первой ступени максимальной токовой защиты (МТ31);
4 – блок, реализующий алгоритм работы второй ступени токовой отсечки (МТ32);
5 – блок, реализующий алгоритм работы избирательного органа устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ);
6 – блок, реализующий алгоритм работы автоматического повторного включения (АПВ);
7 – блоки, реализующие алгоритм работы децентрализованного устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ);
8 – блоки, реализующие алгоритм отключения выключателя от первой ступени устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ);
9 – блок, реализующий подачу команды на отключение выключателя от работы защит или УРОВ.

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

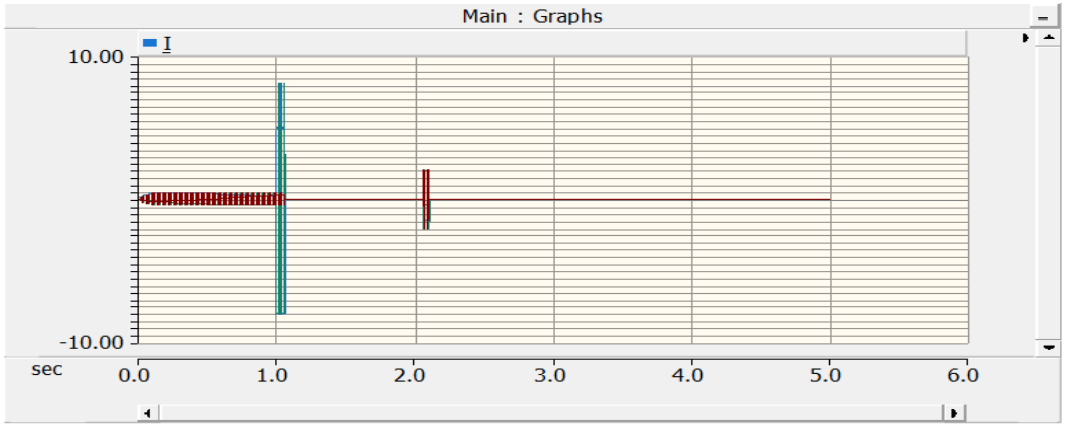
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование алгоритма автоматического повторного включения (АПВ) встроенного в МТЗ КЛ 10 кВ

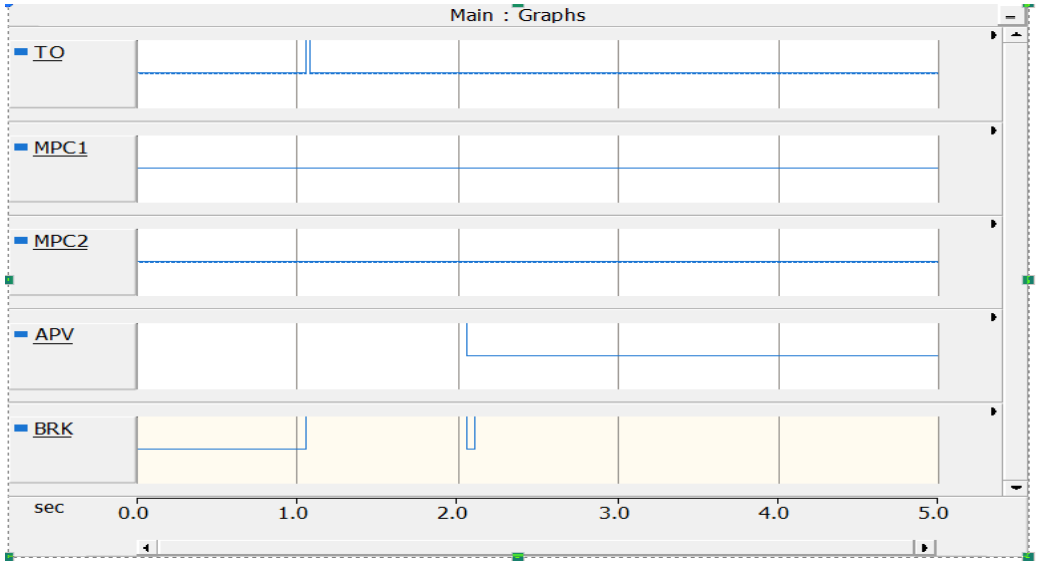


1,3,5 – *RS*-триггеры;
2 – элемент выдержки времени;
4 – алгоритм цифрового трехфазного максимального токового реле (ускоряемая ступень МТЗ);
6 – логический элемент ИЛИ;
7 – логический элемент И.

Осциллограмма тока при повреждении на ЛЭП



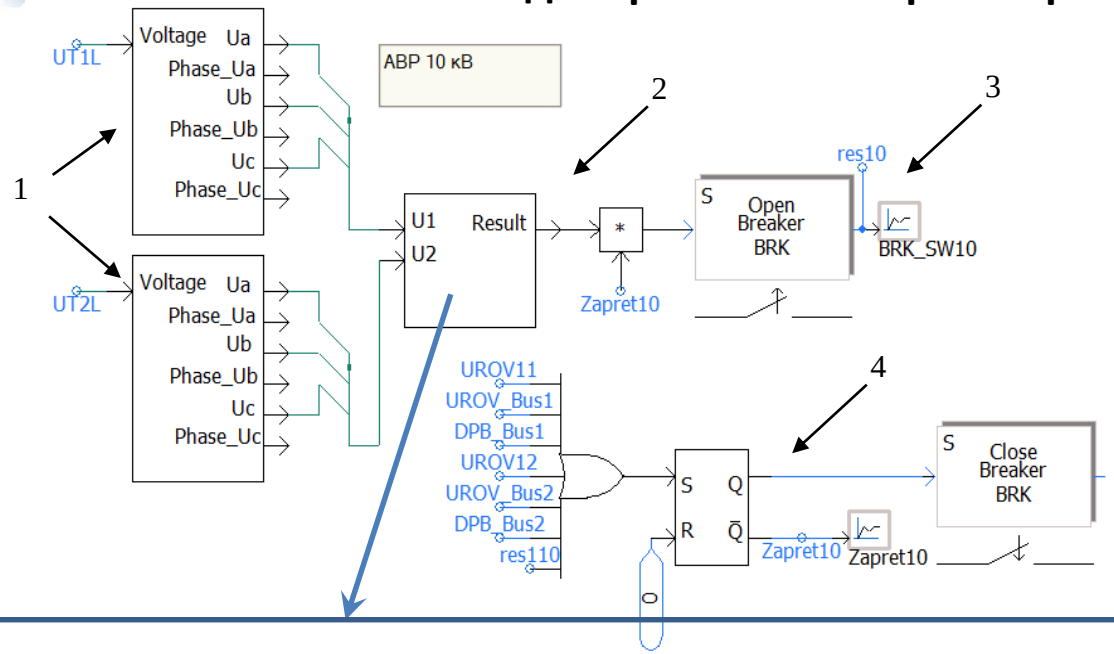
Работа алгоритма АПВ при устойчивом КЗ

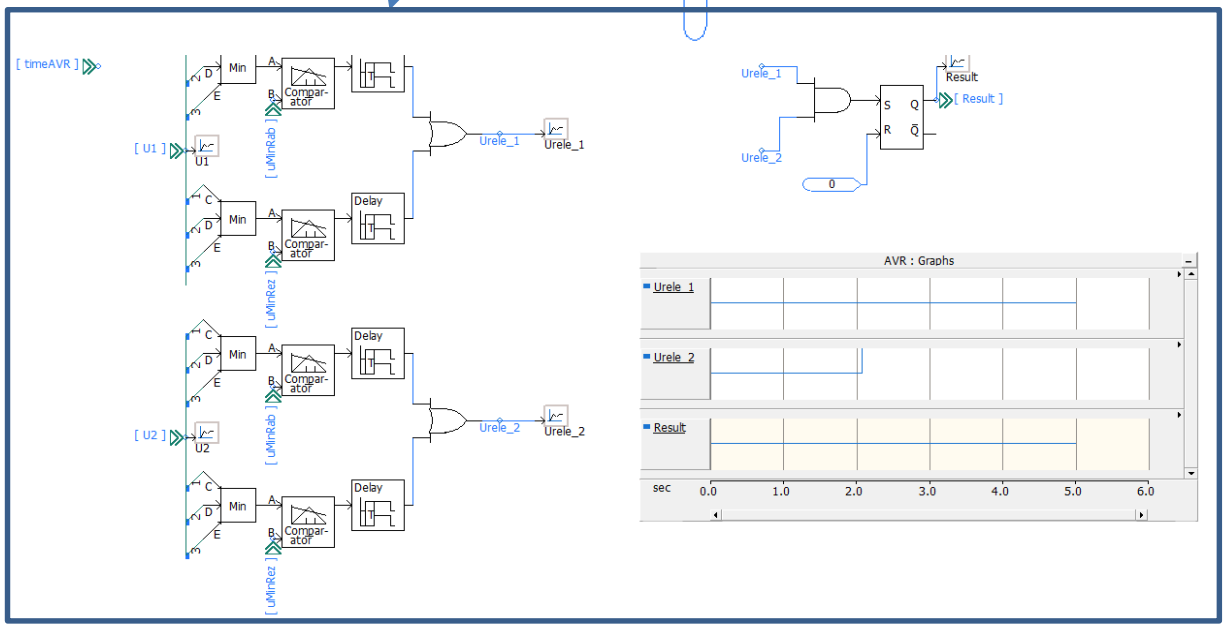


НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование алгоритма работы автоматического включения резерва (АВР)





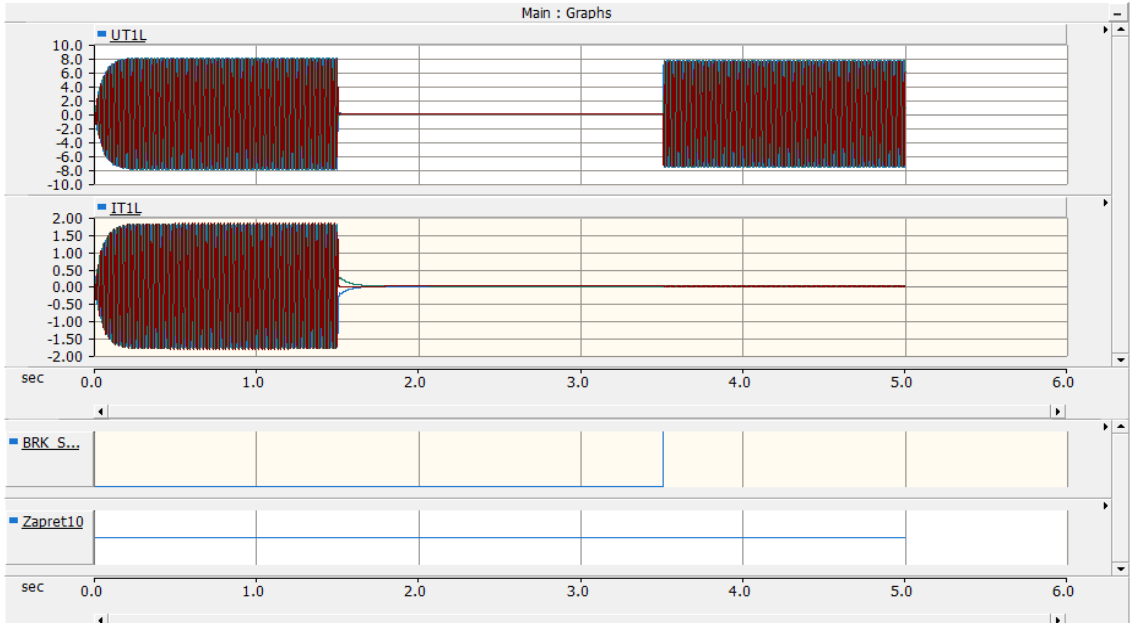
1 – алгоритм АЦП сигналов напряжения с трансформаторов напряжения (ТН).

2 – алгоритм принятия решения автоматического ввода резерва (АВР).

3 – алгоритм воздействия на силовой выключатель.

4 – алгоритм запрета срабатывания автоматического ввода резерва (АВР).

Диаграммы работы автоматического ввода резерва (АВР)

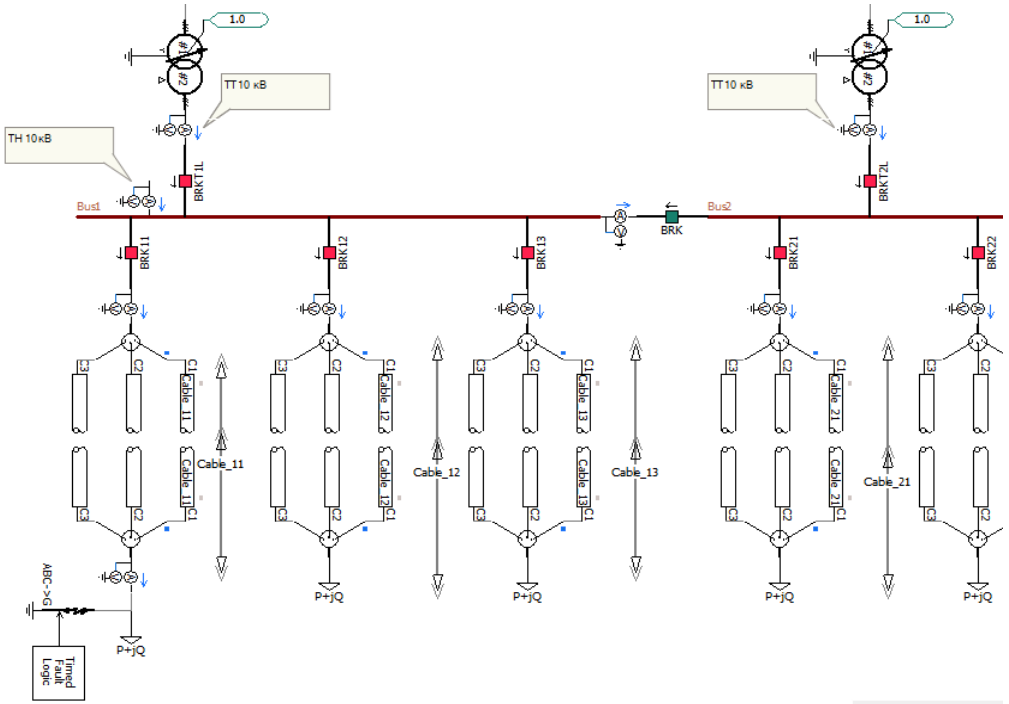


НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

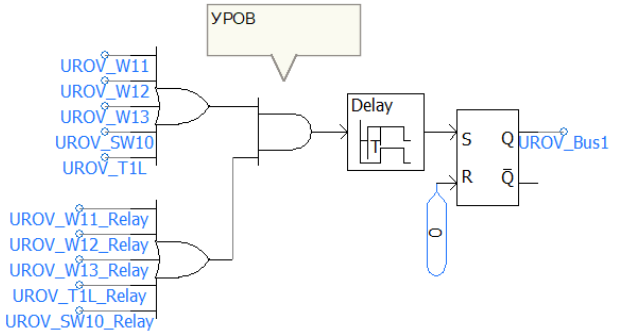
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование алгоритма децентрализованного устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ)

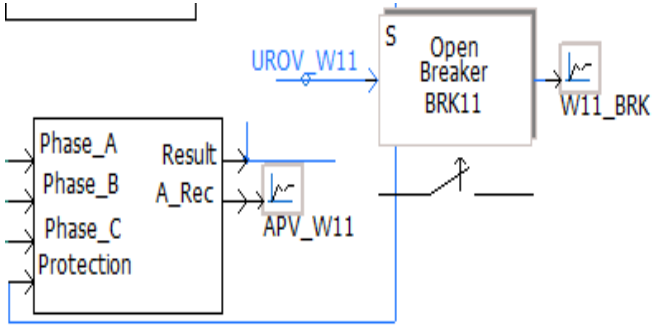
Однолинейная схема секции шин для демонстрации работы УРОВ



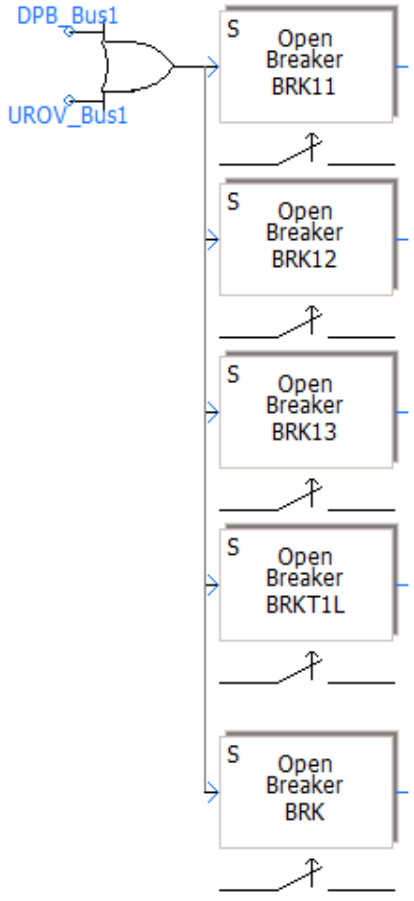
Внешний вид алгоритма Работы УРОВ



Внешний вид алгоритма УРОВ присоединения *W*11



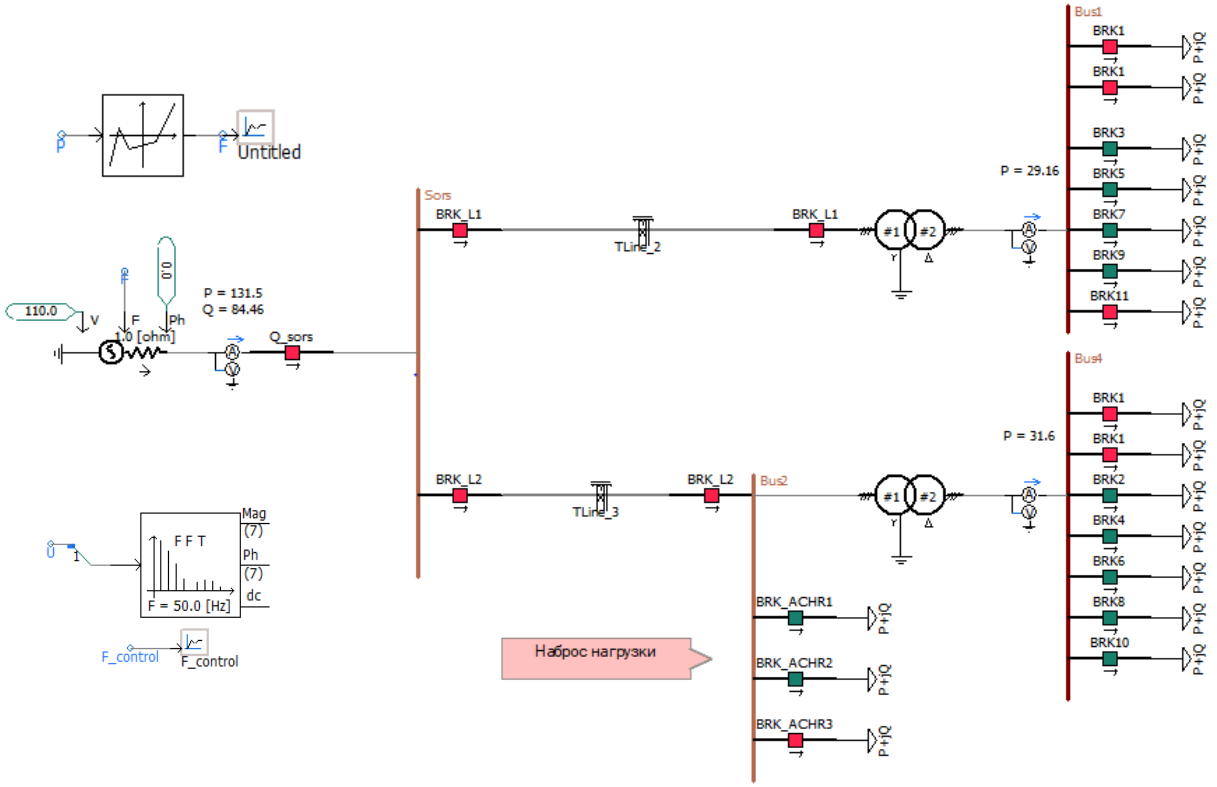
Алгоритм работы УРОВ при отказе выключателя секции шин



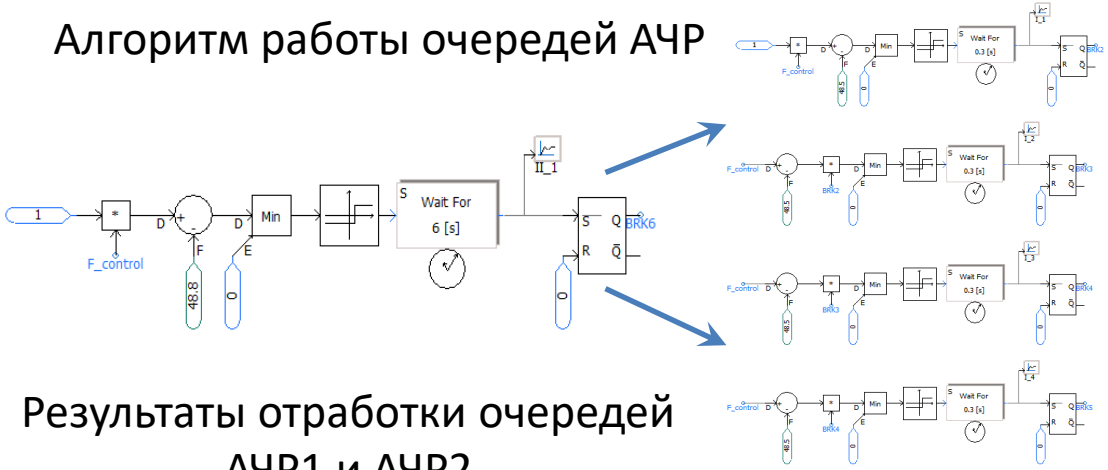
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

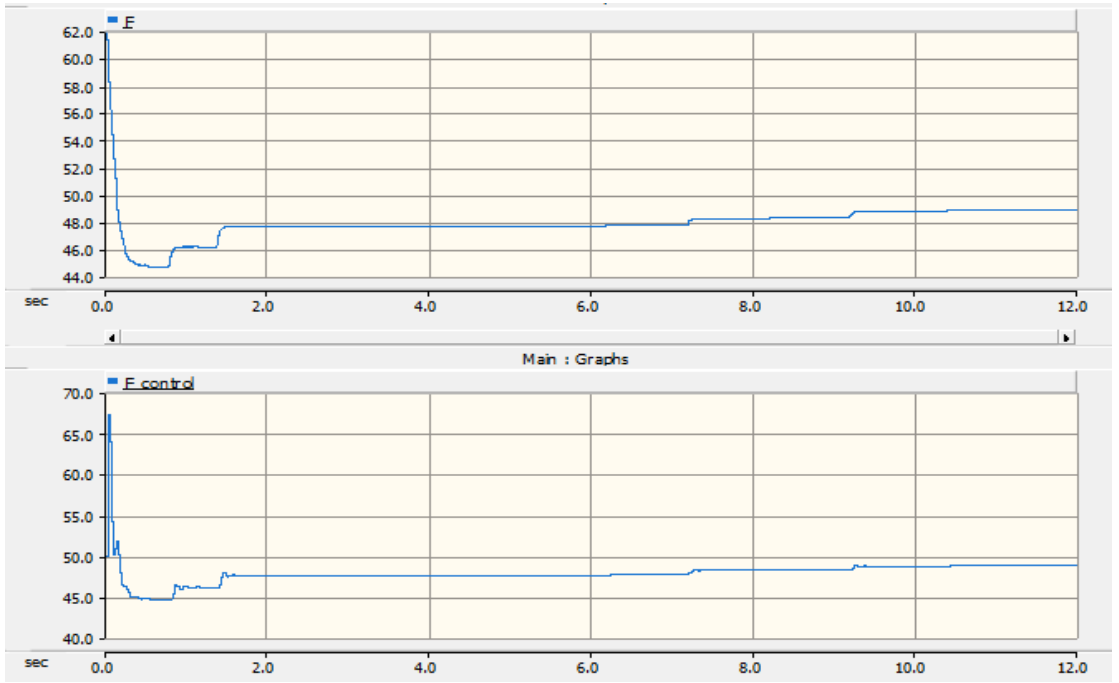
Моделирование работы автоматики частотной разгрузки (АЧР)



Алгоритм работы очередей АЧР



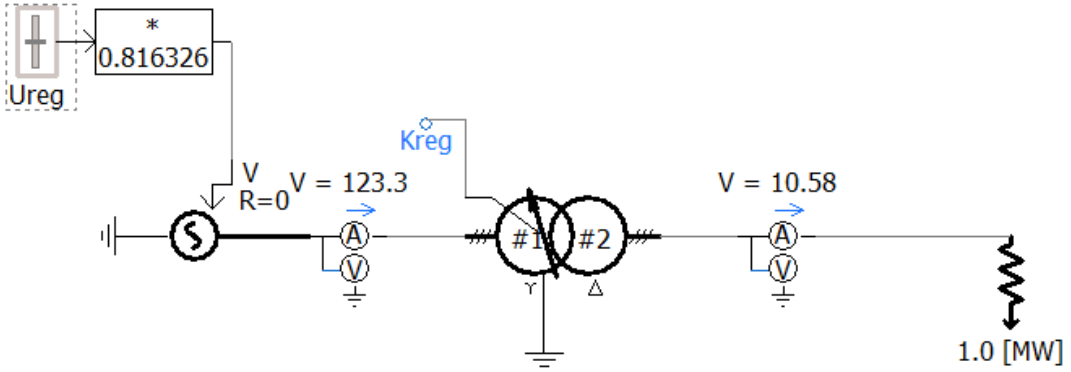
Результаты отработки очередей АЧР1 и АЧР2



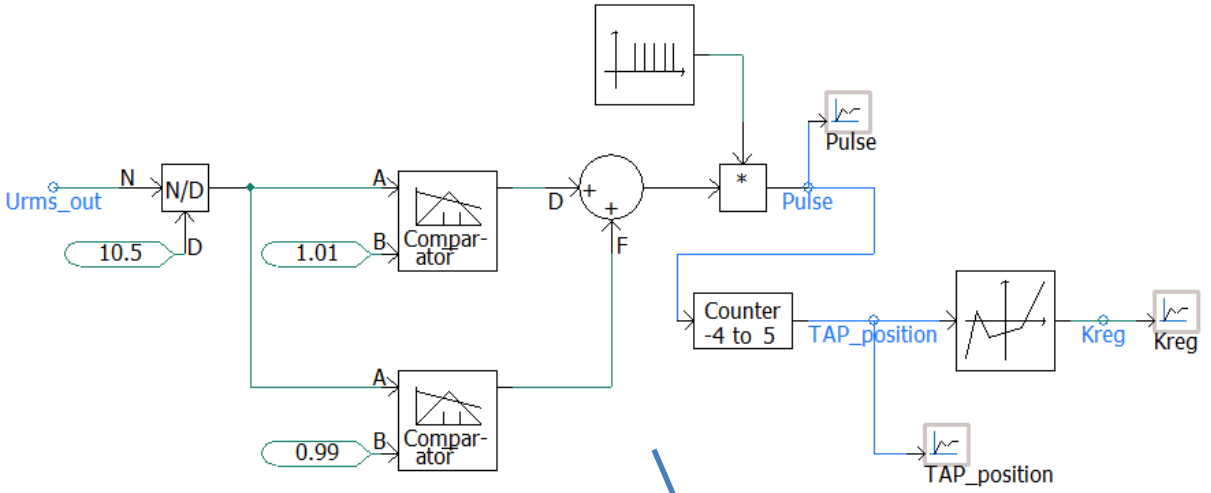
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение симулятора PSCAD в учебных целях

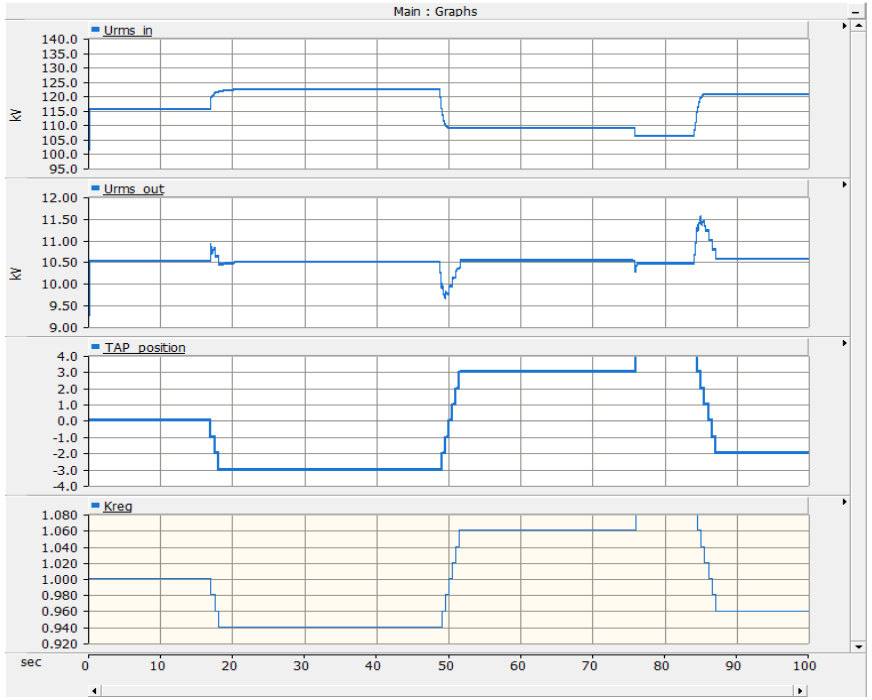
Моделирование работы алгоритма регулирования напряжения на силовом трансформаторе 110/10 кВ



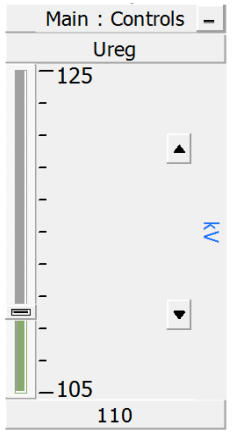
Модель РПН

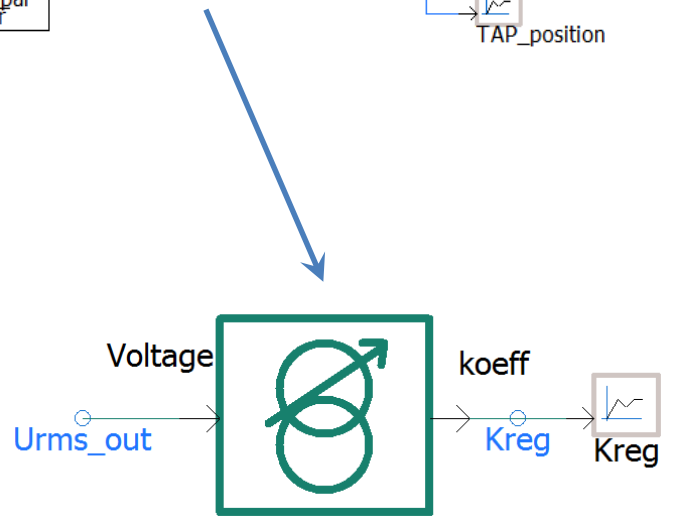


Результаты восстановления напряжения на шинах НН



Изменение уровня напряжения

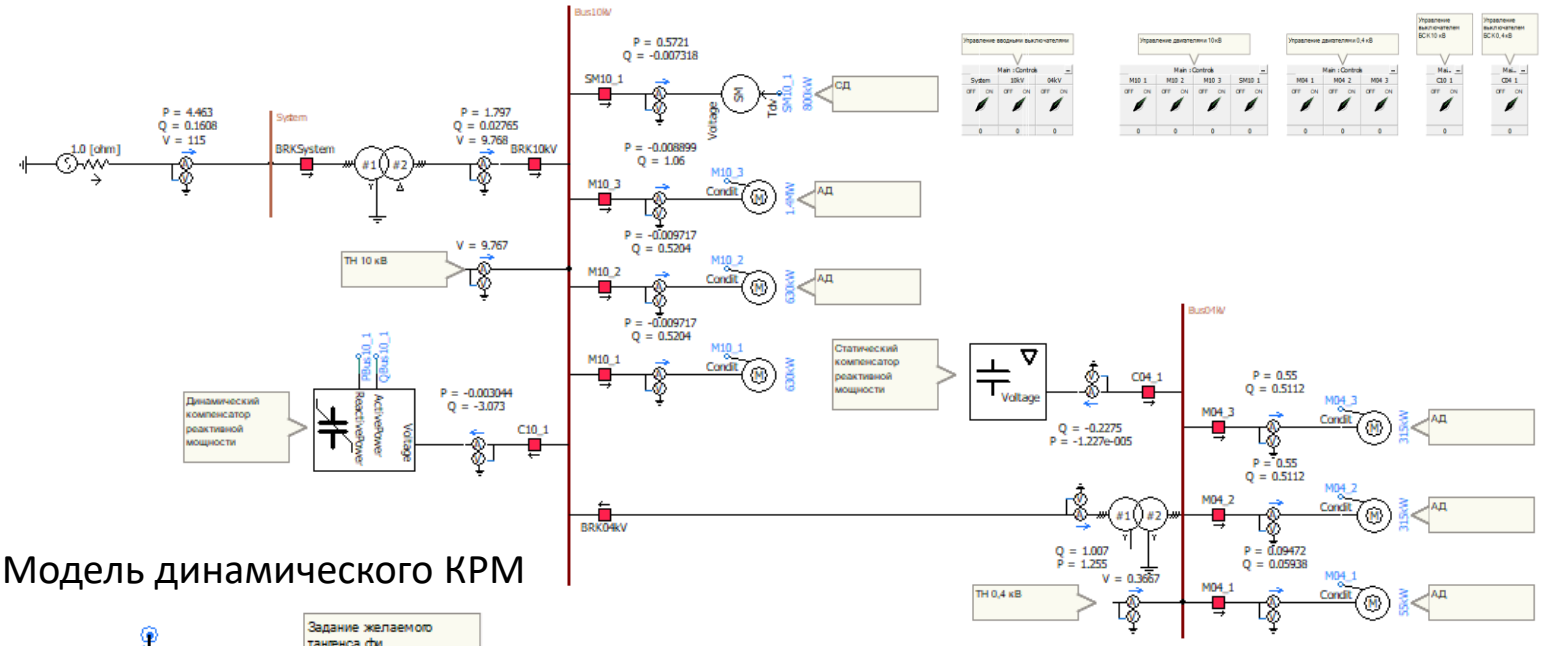




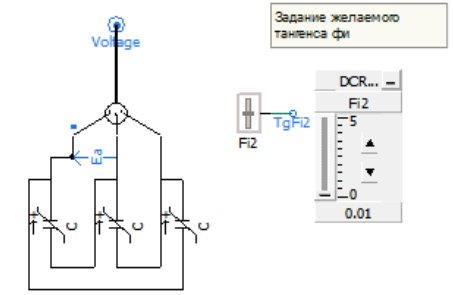
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

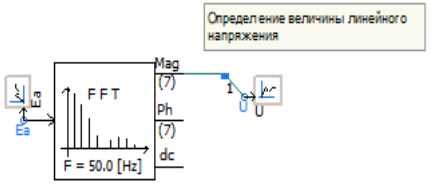
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование динамического компенсатора реактивной мощности

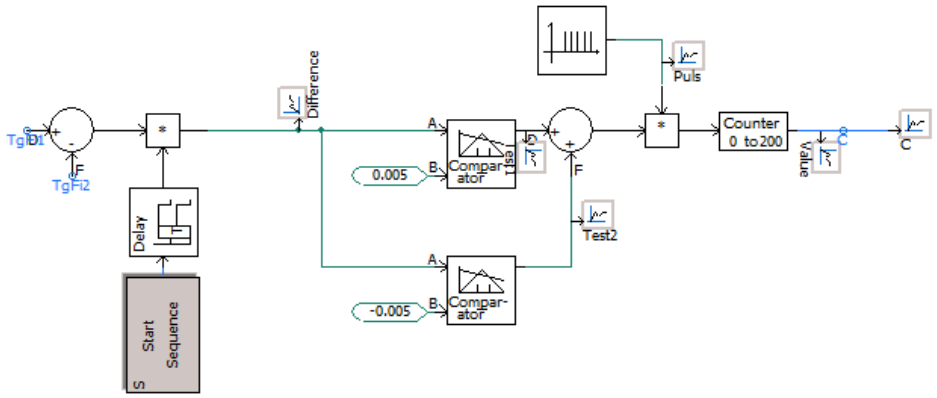


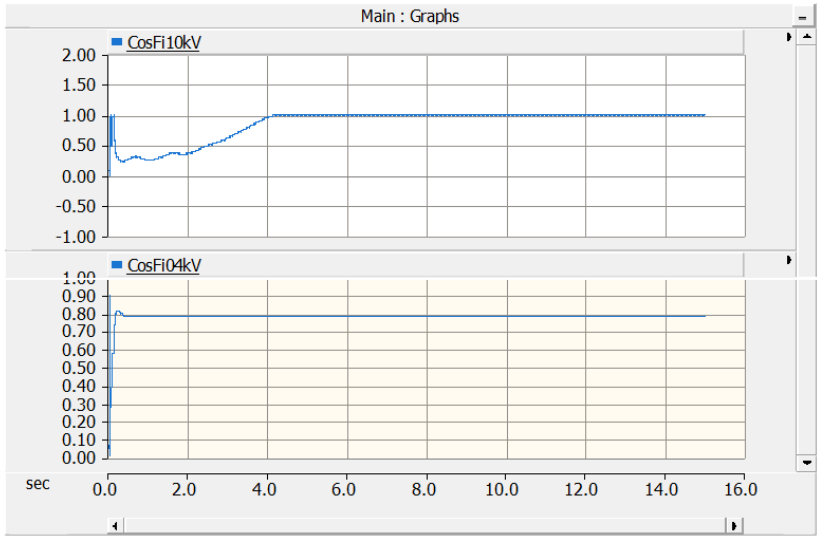
Модель динамического КРМ

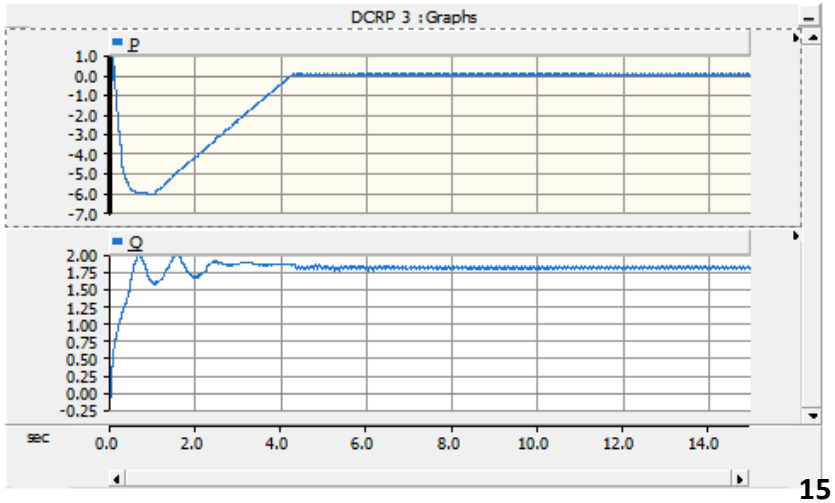




Модель алгоритма регулирования



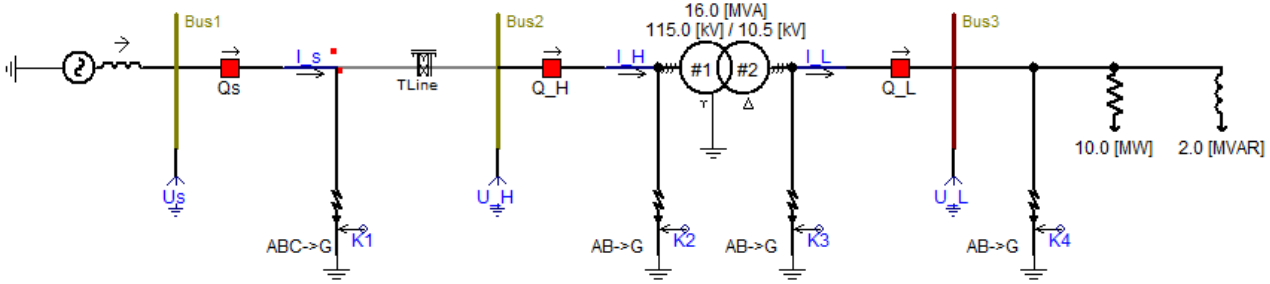


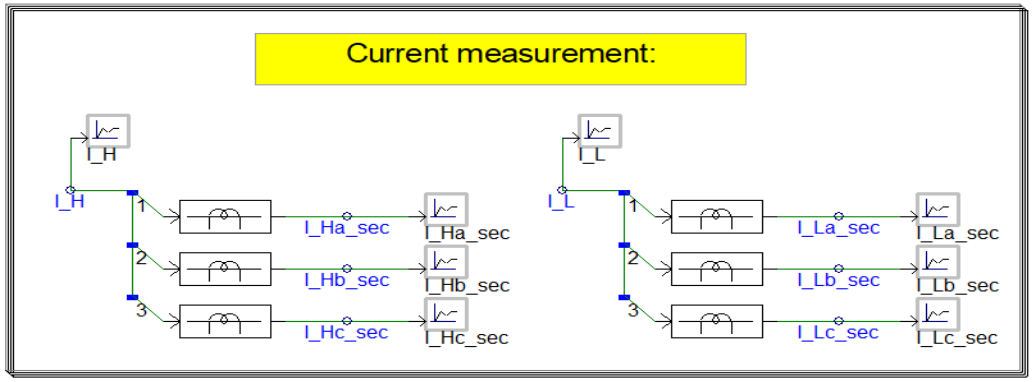


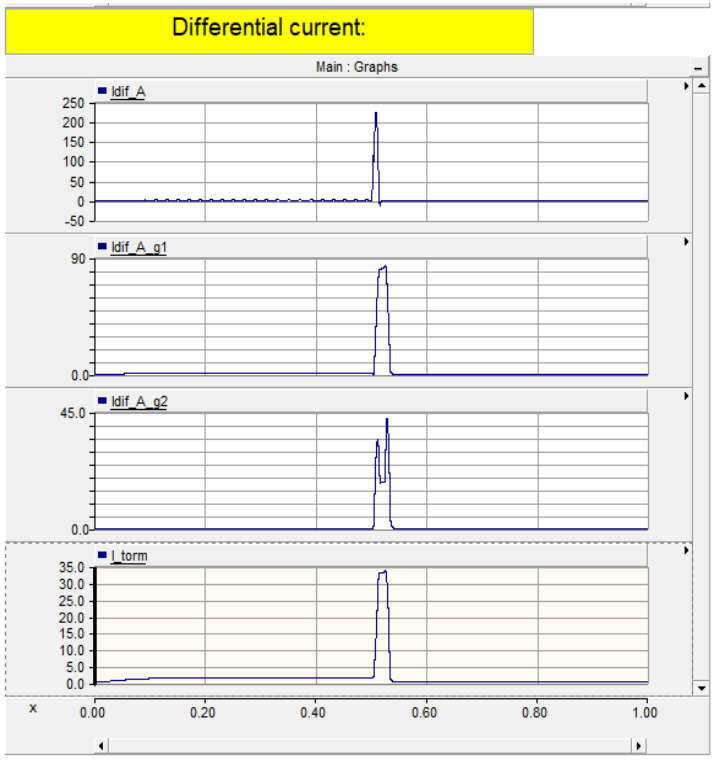
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

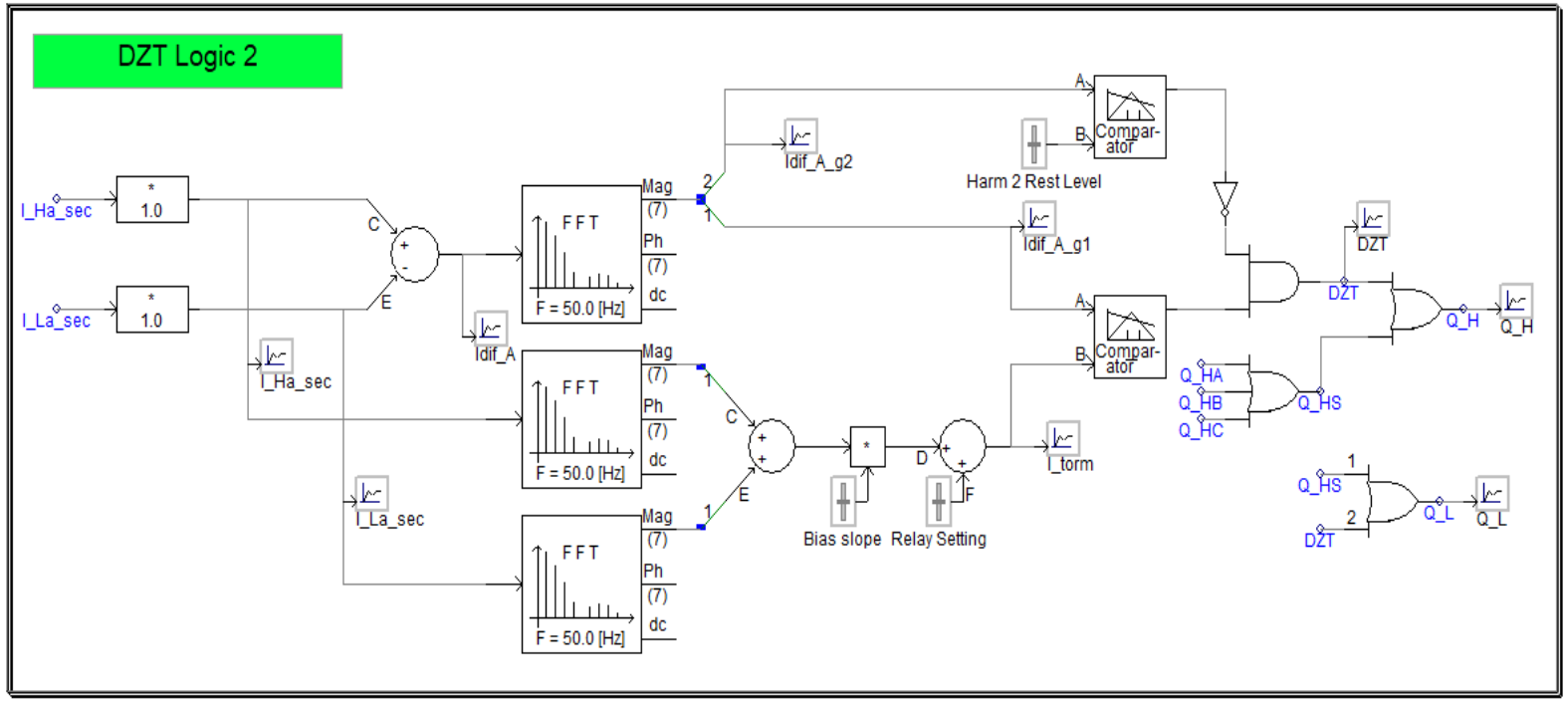
Применение симулятора PSCAD в учебных целях

Моделирование алгоритма дифференциальной защиты трансформатора



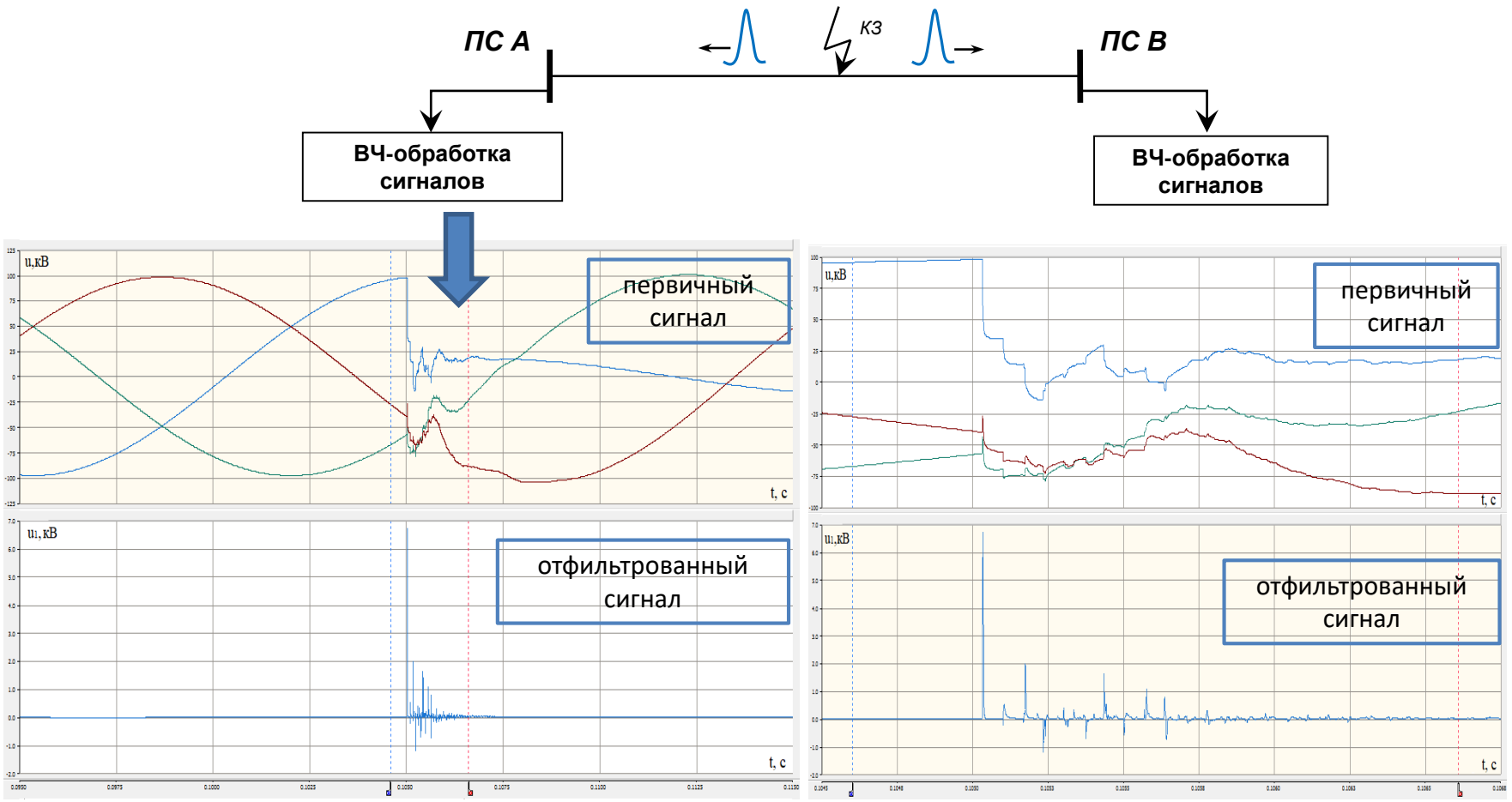






Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Моделирование волновых электромагнитных процессов



20 мс

2 мс

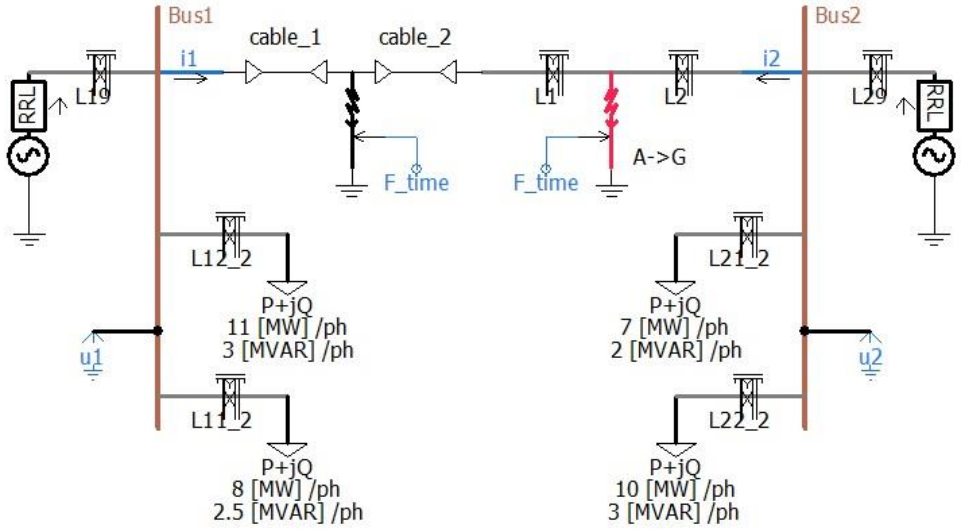
Решаемые задачи:

- Разработка алгоритмов распознавания волновых портретов и алгоритма АПВ КВЛ;
- Оценка адекватности модели ЛЭП для исследования волновых процессов;
- Сравнение получаемых на модели сигналов с реальными осциллограммами;
- Анализ методов упрощенной цифровой обработки на коротком окне данных с целью выбора алгоритма, позволяющего получить наибольший коэффициент корреляции модельных и реальных сигналов

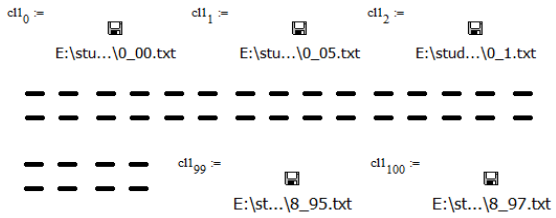
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

АПВ кабельно-воздушных ЛЭП с использованием волновых портретов повреждений

Модель КВЛ

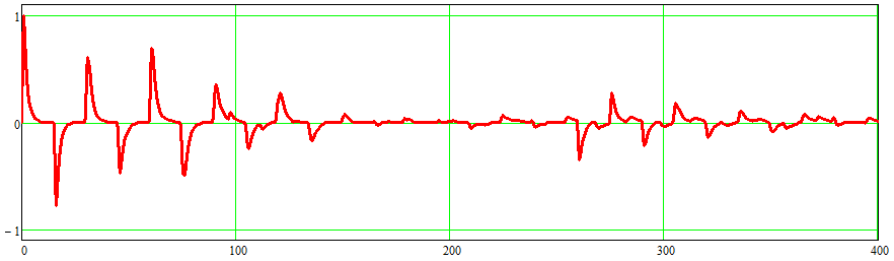


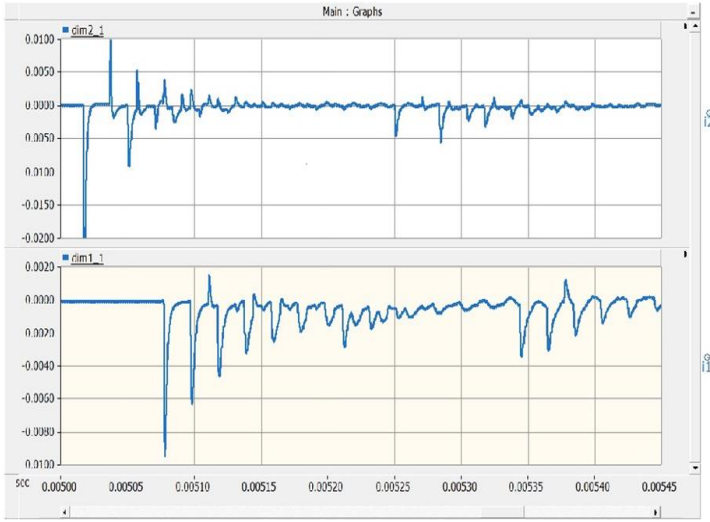
Загрузка данных в рабочую среду Mathcad

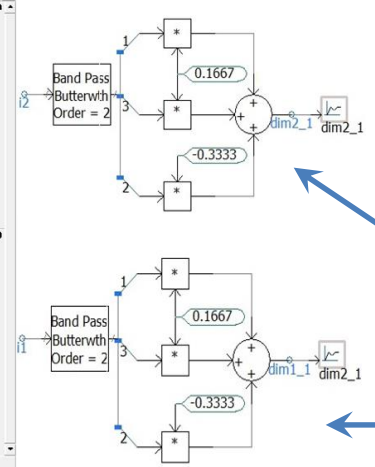



```
transf_f(array, V, No) :=
  r ← rows(array_No)
  m ← 0
  for i ∈ 0.. r − 1
    ar_i ← (array_No)_i, V
    m ← ar_i  if |ar_i| ≥ |m|
  k ← 0
  for i ∈ 0.. 3Nr − 1
    answ_i ← 0
  for i ∈ 0.. r − 1
    if |ar_i| ≥ 2·ts ∧ k = 0
      k ← 1
      ip ← i
  for i ∈ ip.. ip + Nr − 1
    a ← ar_i
    answ_{i+Nr−ip} ← a/m  if |a| > ts
  answ
```

Результат работы выделенного фрагмента программы (нормирование сигнала по амплитуде)







Выделение волновых составляющих, выделение 1-ой междуфазной модальной составляющей и запись на осциллограммы

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

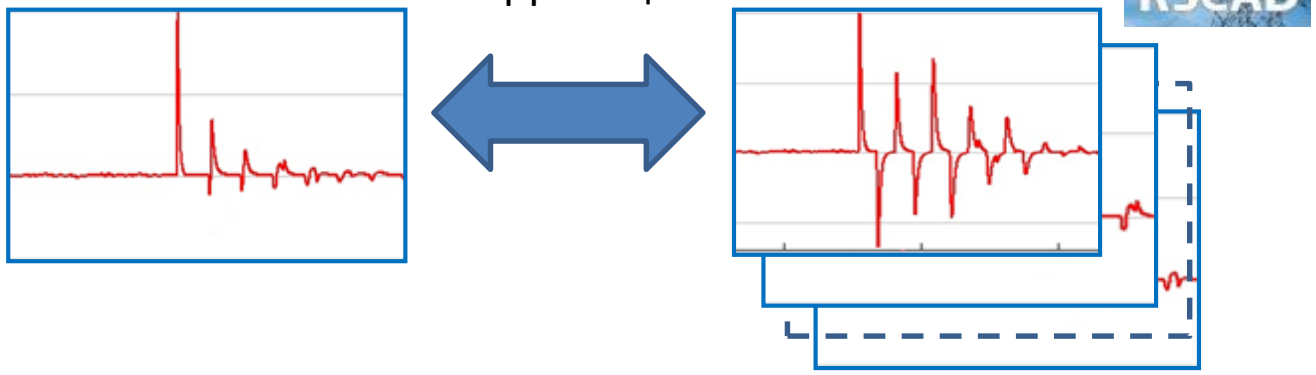
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

АПВ кабельно-воздушных ЛЭП с использованием волновых портретов повреждений

Замеренный портрет

Взаимная корреляция

Эталонные портреты

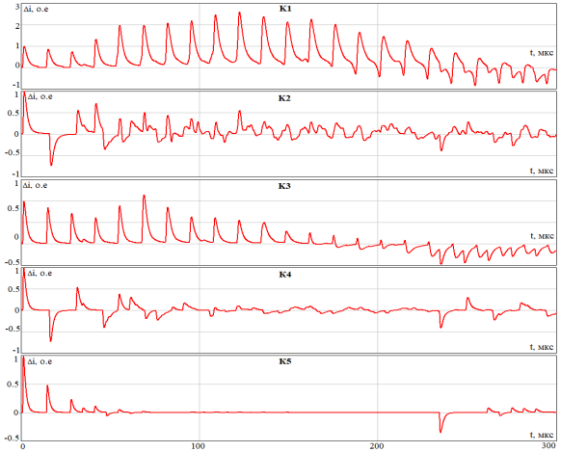


RTDS Technologies

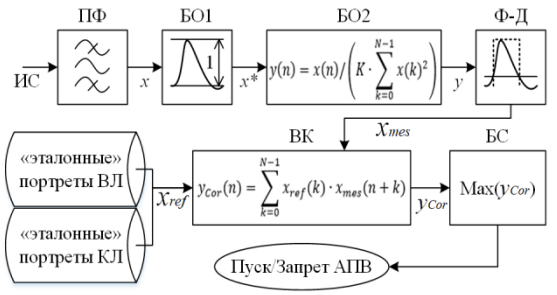
PSCAD

RSCAD

Сравнение сигналов при различных конфигурациях КВЛ

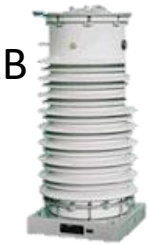


Блок-схема алгоритма

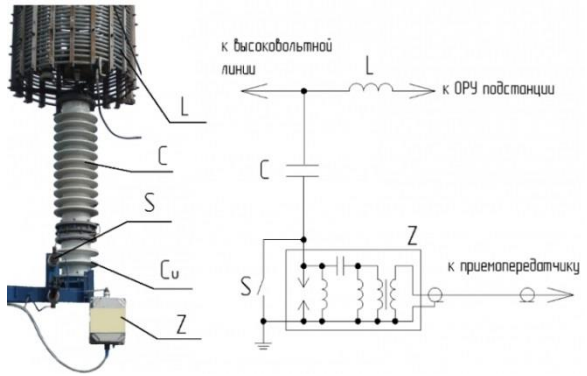


Распознаваемый (замеренный) волновой портрет

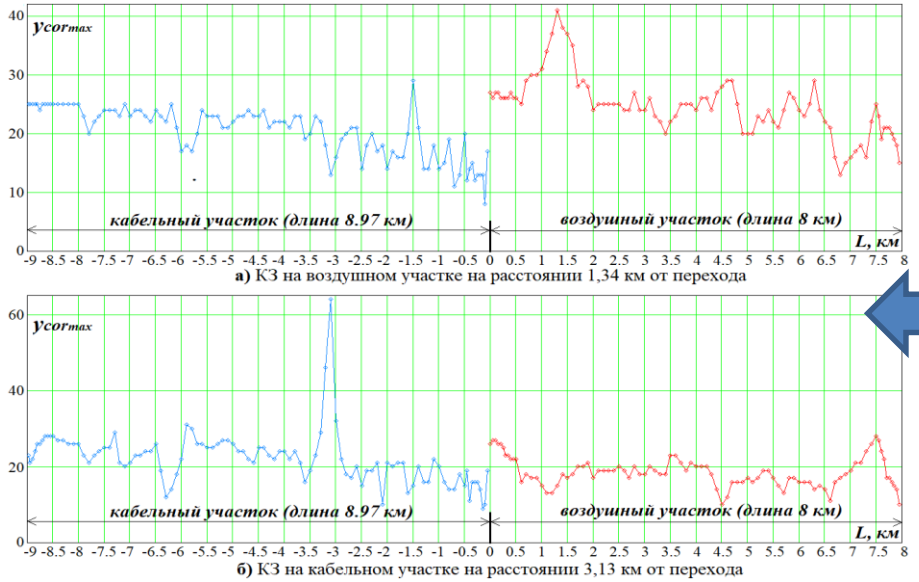
ТН 110 кВ



Фильтр присоединения



ТТ 110 кВ



а) КЗ на воздушном участке на расстоянии 1,34 км от перехода

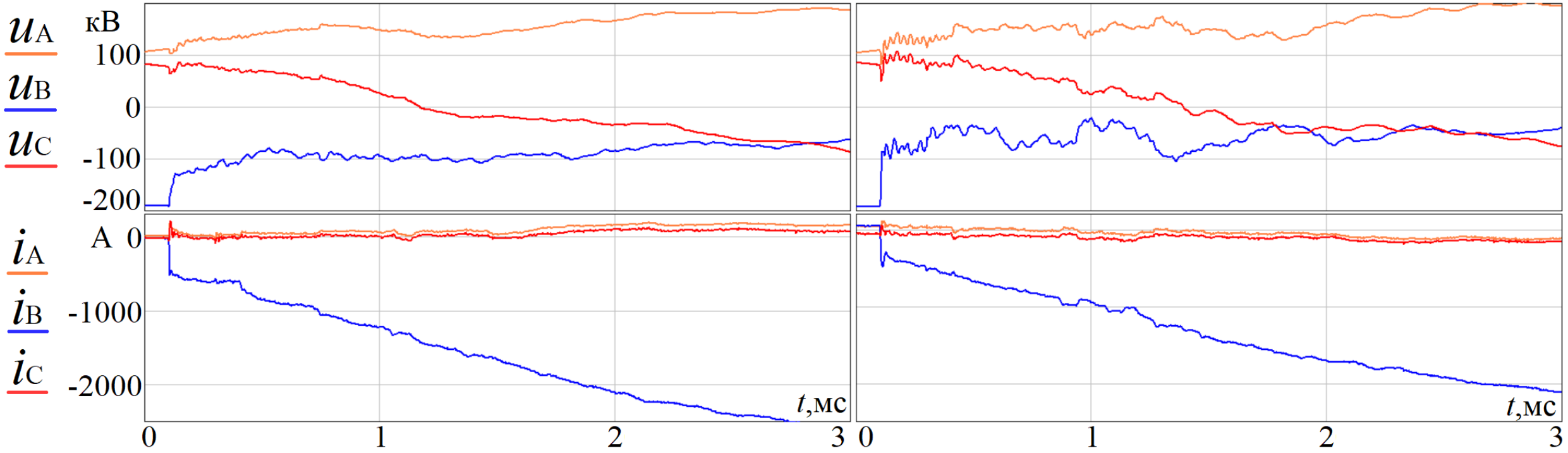
б) КЗ на кабельном участке на расстоянии 3,13 км от перехода

Определение места (участка) повреждения

Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Сравнение получаемых на модели сигналов с реальными осциллограммами

Осциллограммы однофазного КЗ фазы «В» на ВЛ 220 кВ Парская-Сасово



ПС 220 кВ Парская

ПС 220 кВ Сасово

- частота дискретизации 1МГц

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

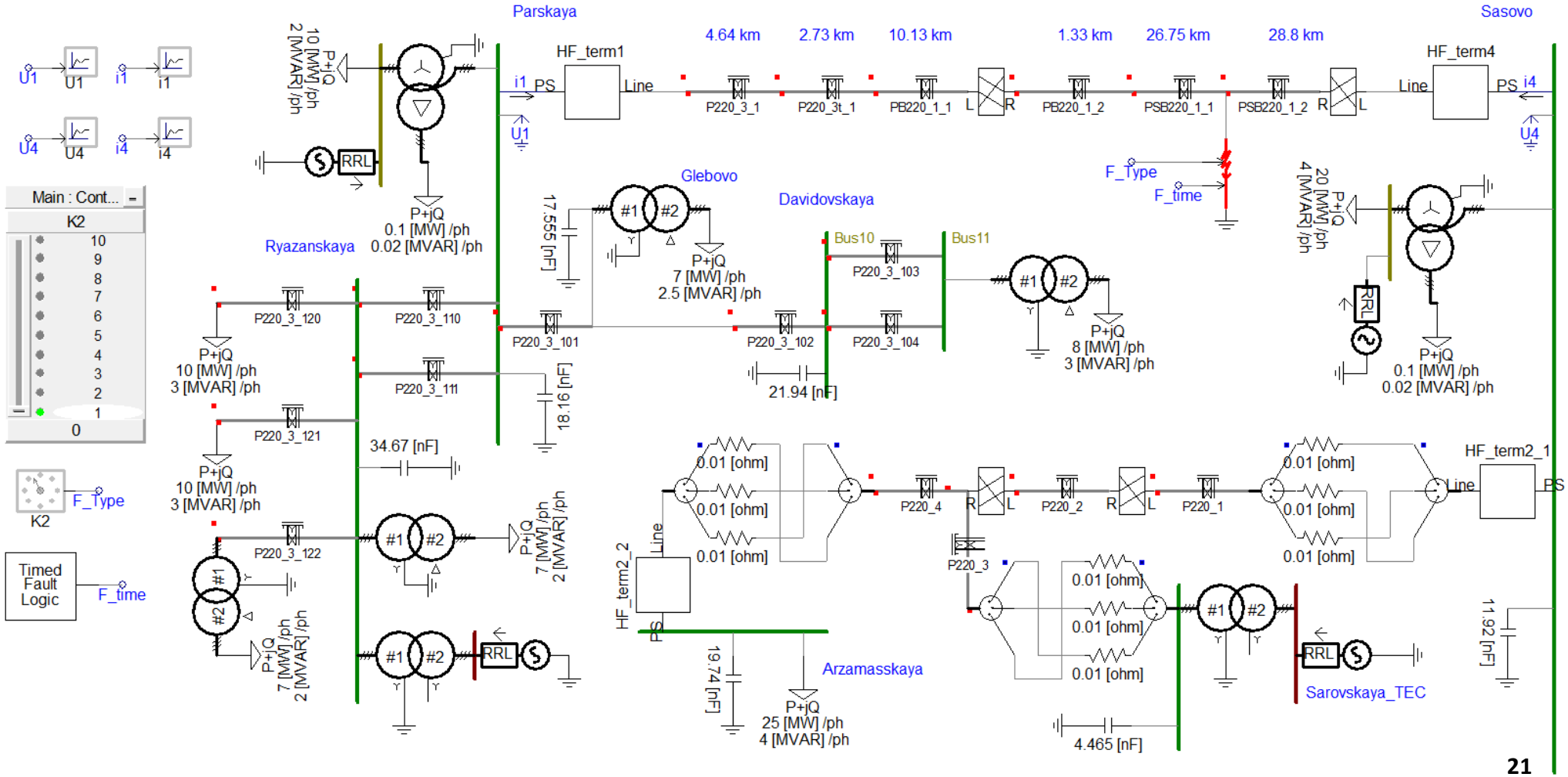
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Сравнение получаемых на модели сигналов с реальными осциллограммами

Использовались:

- Паспорта ЛЭП (типы проводов, типы и количество опор, длина, схема фазировки);
- Схемы электрических соединений;
- Перечень оборудования ПС.

Построение модели ЛЭП - ВЛ 220 кВ Парская-Сасово (74,6км)



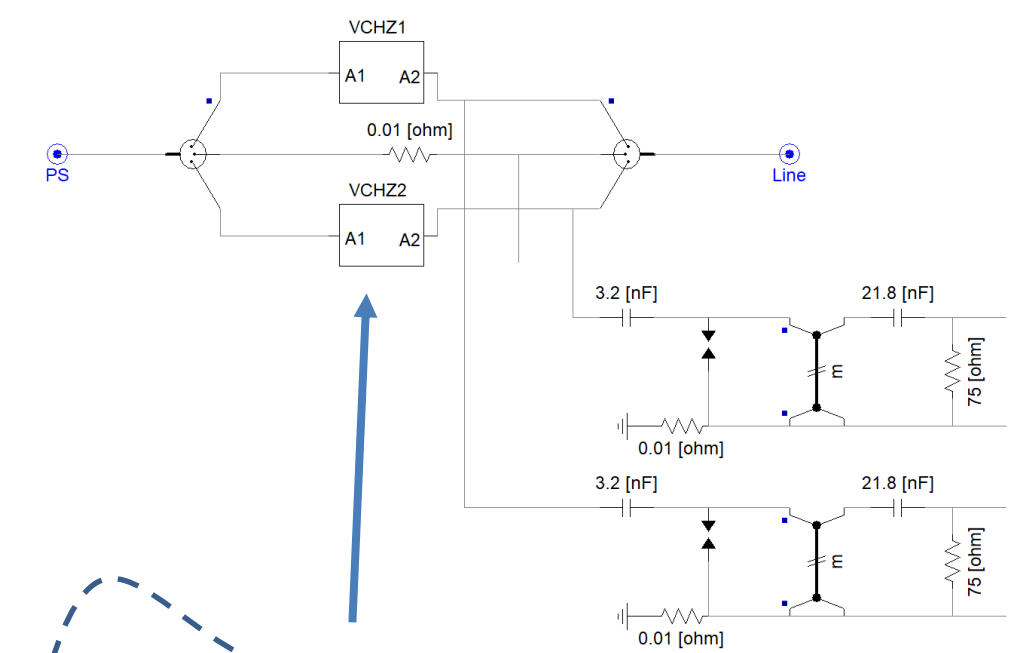
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

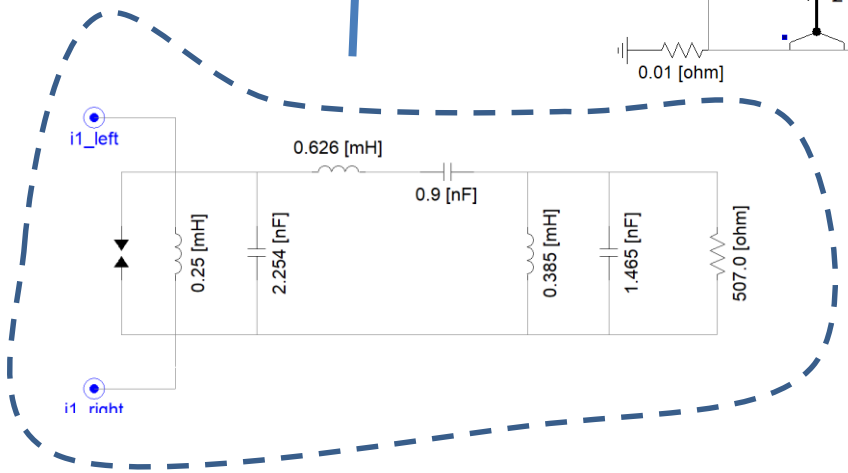
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

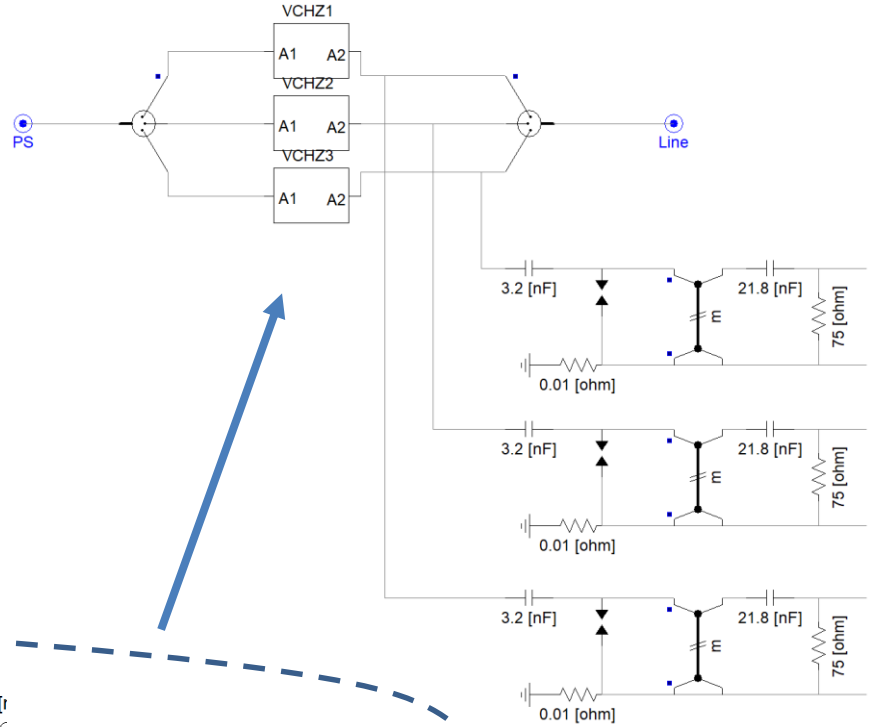
Сравнение получаемых на модели сигналов с реальными осциллограммами

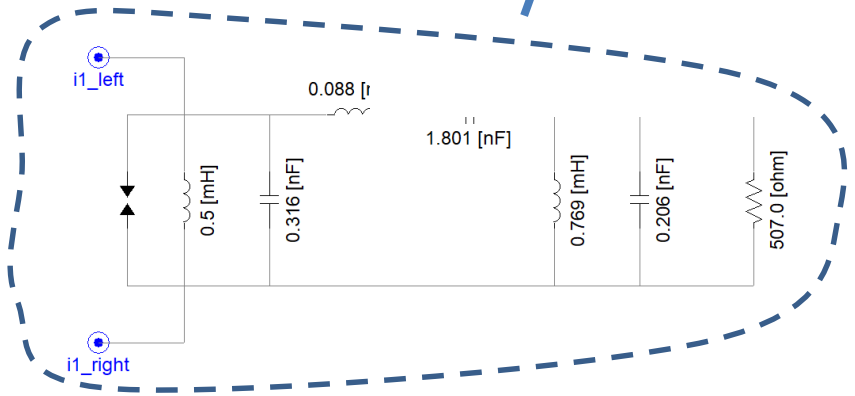
Построение модели ЛЭП - ВЛ 220 кВ Парская-Сасово (74,6км)

Учитывалось оборудование ВЧ присоединения: ВЧЗ, КС, ФП





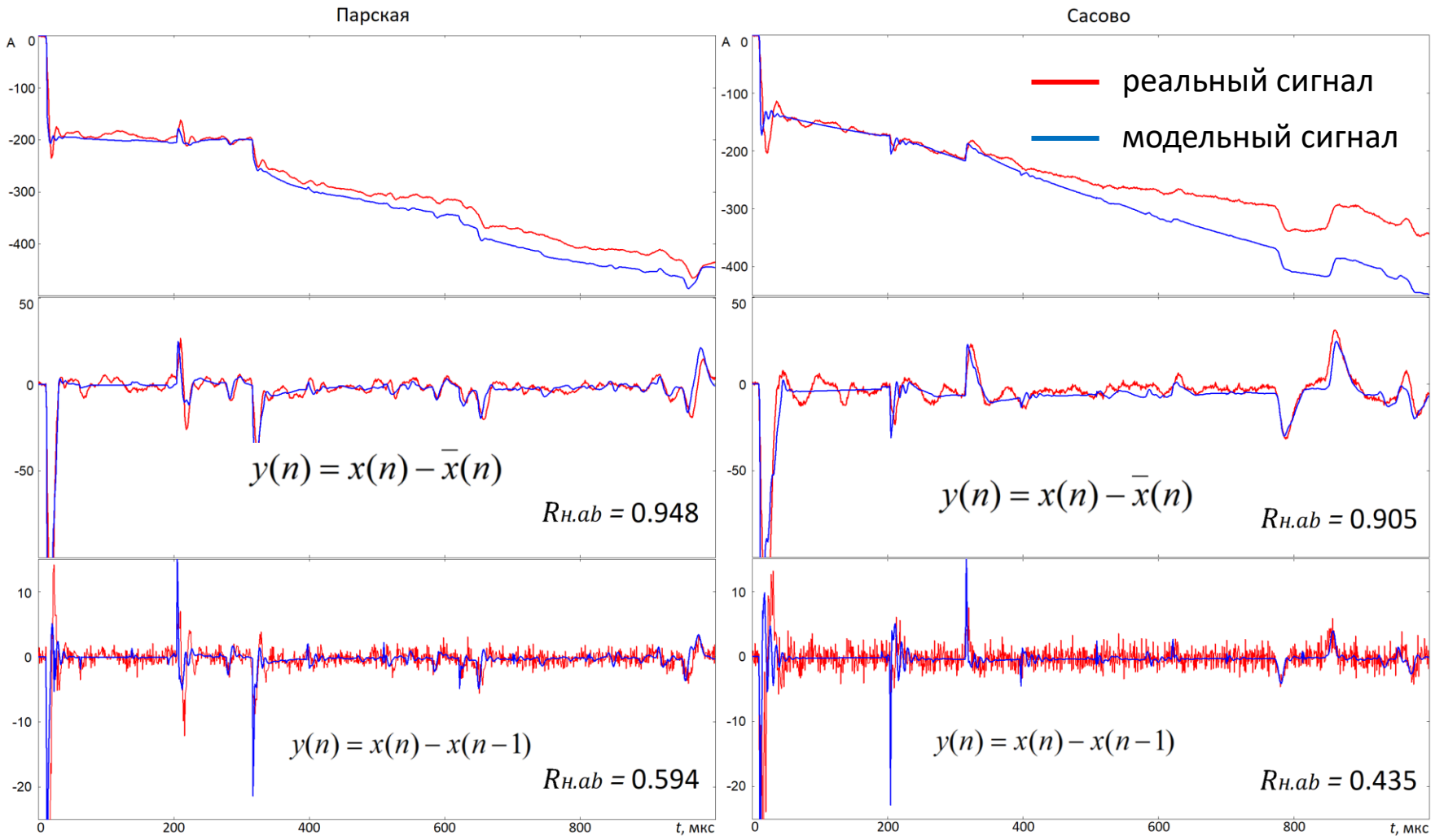




НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Сравнение получаемых на модели сигналов с реальными осциллограммами



- Проведено сравнение получаемых сигналов с реальными осциллограммами

Вывод: модель ВЛ в PSCAD адекватно воспроизводит волновые процессы в реальной сети

- Проведен анализ методов упрощенной цифровой обработки на коротком окне данных

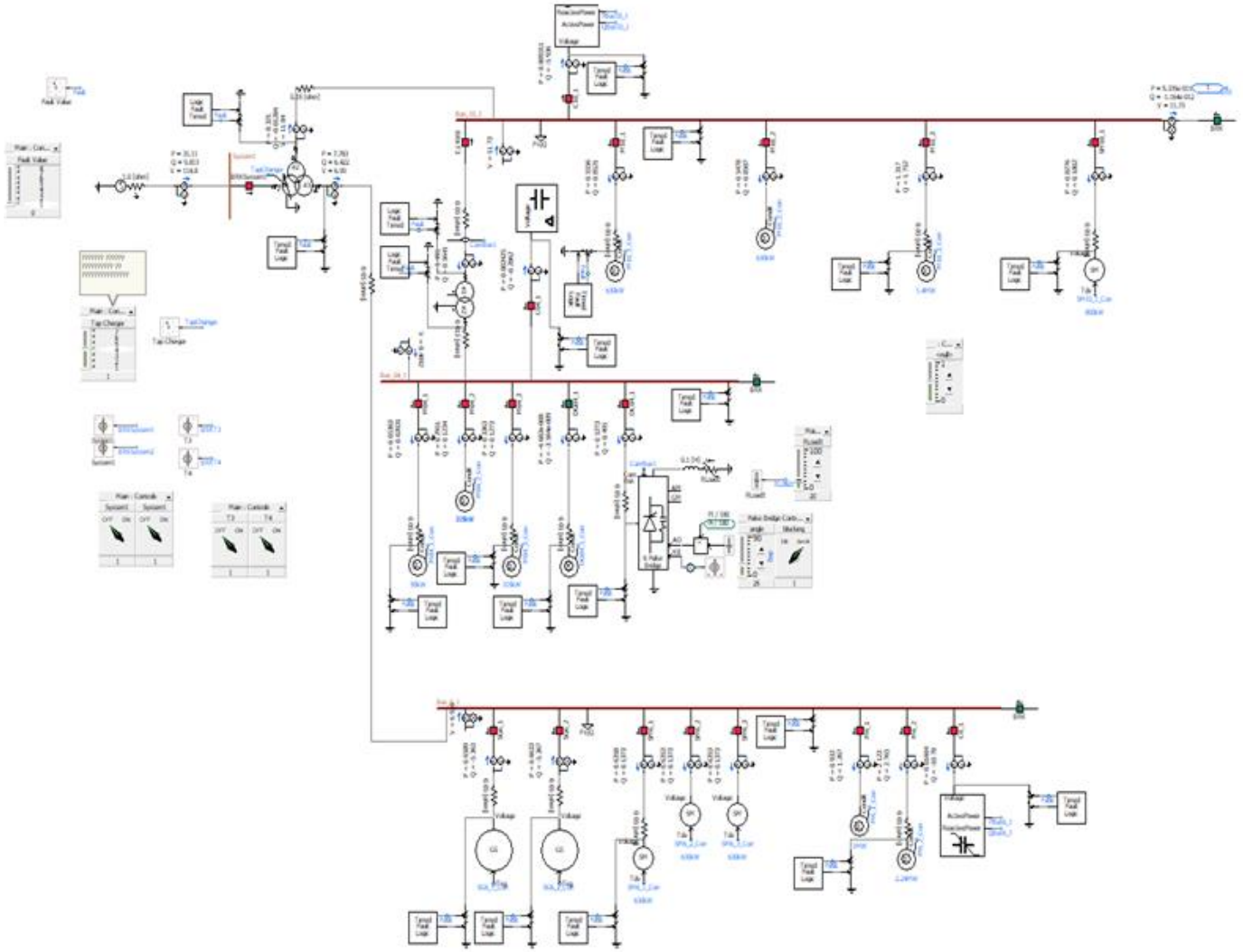
Вывод: наибольший коэффициент корреляции позволяет получить метод фильтрации с центрированием величины сигнала на коротком окне (вычитание постоянной составляющей)

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Исследование энергорайона с источниками распределённой генерации на математической имитационной модели для выявления особенностей АЧР

Схема моделируемого энергорайона



Цель:

- разработка алгоритма функционирования АЧР на основе статистического анализа Вальда или его модификациях

Решаемые задачи:

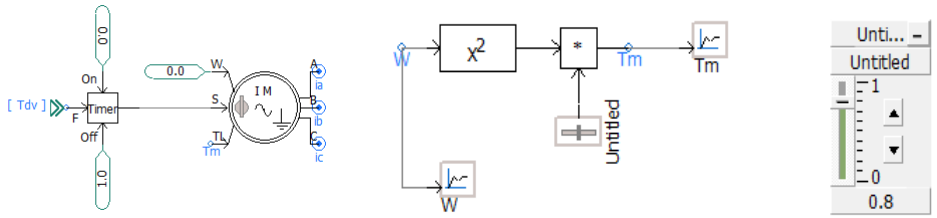
- Исследование особенностей режимов энергорайонов с источниками распределённой генерации, переходных процессов во время функционирования в островном режиме (в том числе оценка гармонического состава сигнала);
- Исследование и разработка модифицированного анализа Вальда;
- Сравнение функционирования существующего и вновь разработанного метода

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

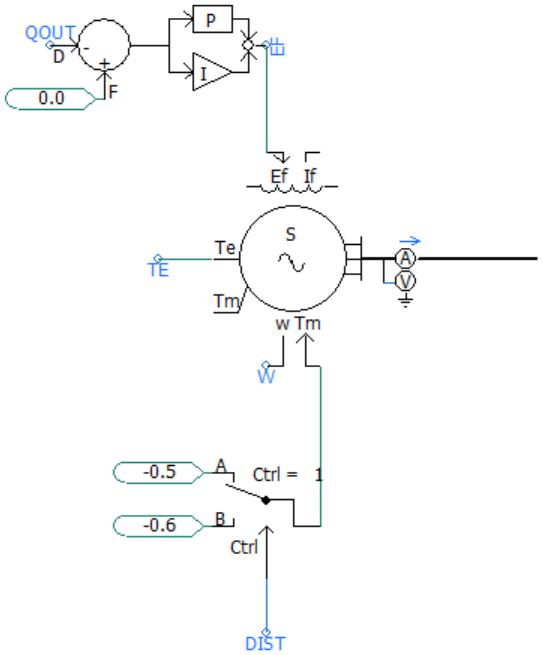
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Исследование энергорайона с источниками распределённой генерации на математической имитационной модели для выявления особенностей АЧР

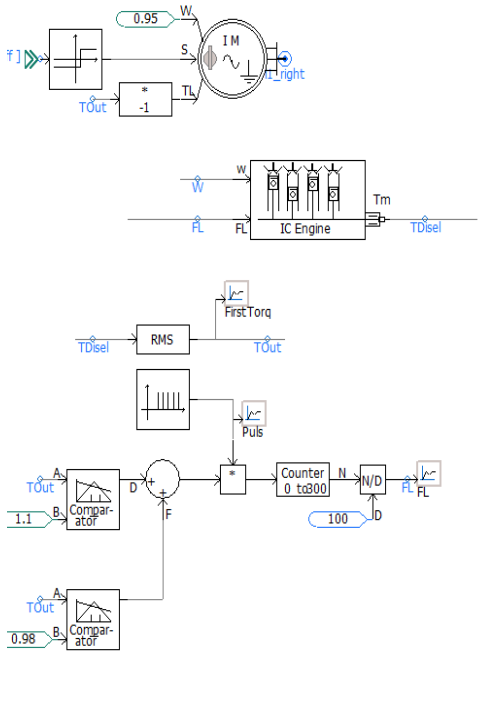
Модель АД и управление моментом



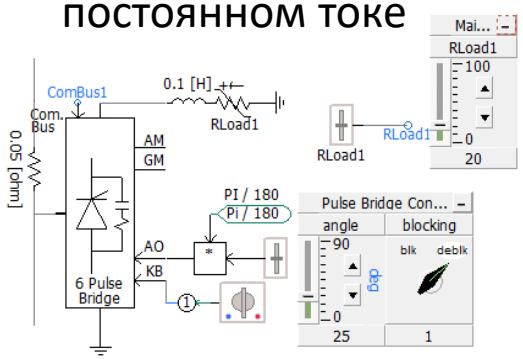
Модель СД



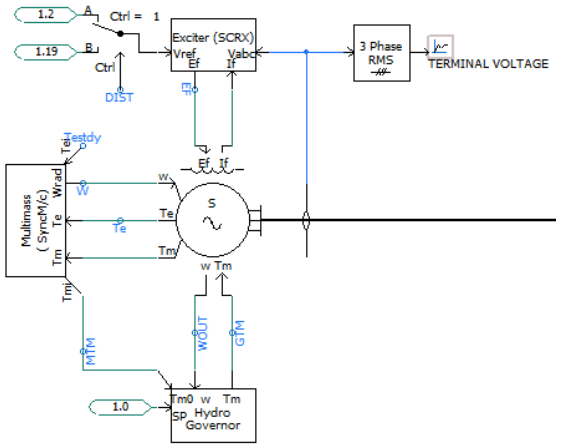
Модель дизельного генератора



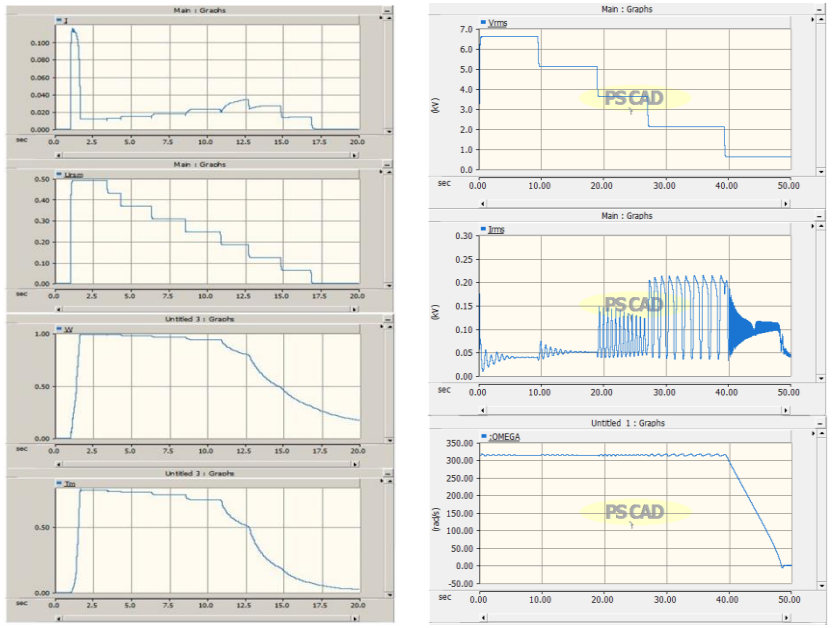
Модель нагрузки на постоянном токе



Модель синхронного генератора



Поведение АД и СД при снижении напряжения



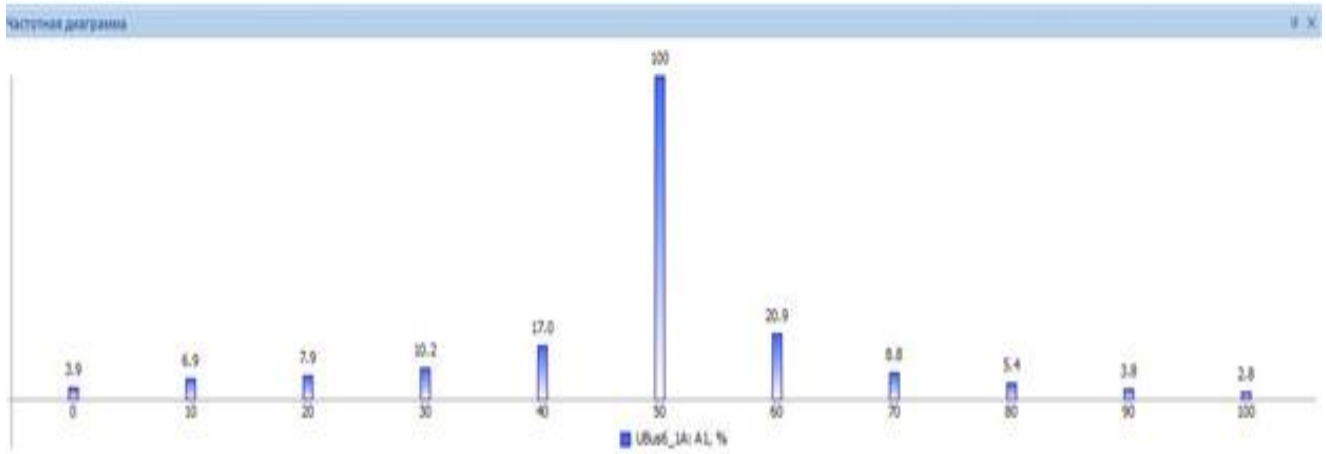
- Разработана математическая имитационная модель, включающая источники распределённой генерации, нагрузку в виде синхронных и асинхронных двигателей, динамические устройства компенсации реактивной мощности, нагрузку на постоянном токе

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

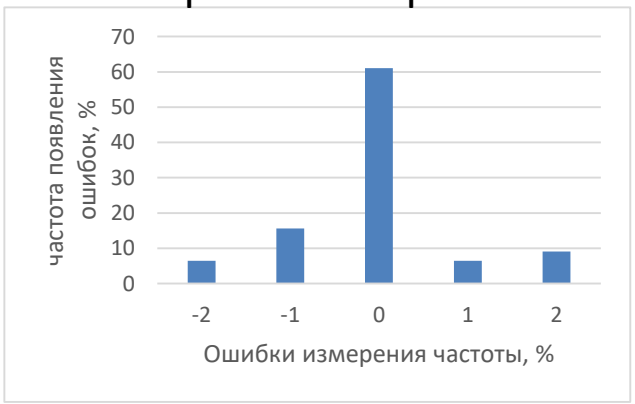
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Исследование энергорайона с источниками распределённой генерации на математической имитационной модели для выявления особенностей АЧР

Частотный спектр сигнала при работе в островном режиме (присутствует дефицит мощности)



Распределение ошибок измерения частоты в нормальном режиме



в аварийном режиме

Выводы:

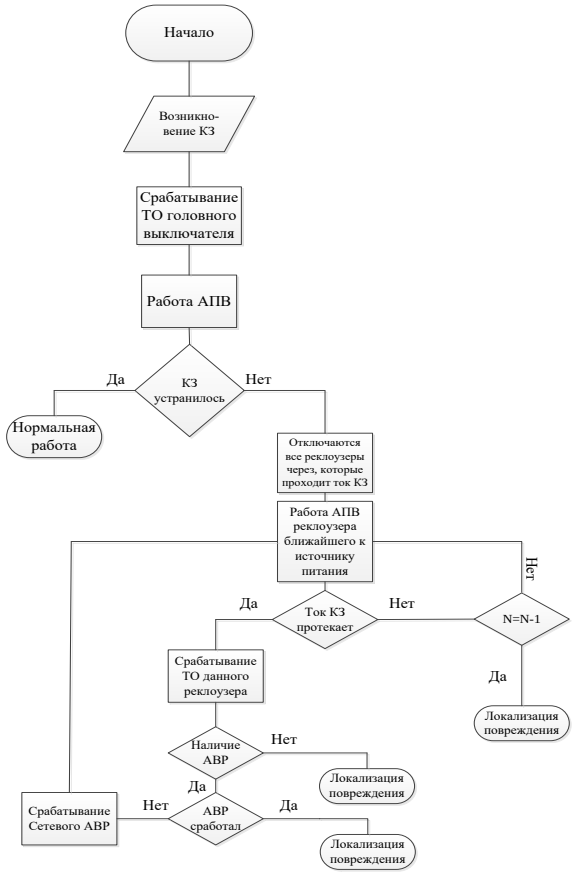
- Разработаны модели, позволяющие выявить диапазоны ошибок АЧР при функционировании энергорайонов в различных схемно-режимных условиях;
- По результатам анализа спектральных характеристик и осциллограмм выявлено, что наиболее интенсивные частоты 40 и 60 Гц, и ошибки могут достигать 5%, что неприемлемо для устройств АЧР;
- Поскольку ошибки носят статистический характер и зависят от конкретных схемно-режимных условий, а так же от режимов работы отдельных элементов в составе энергорайона, то целесообразно применение и разработка статистических методов, в частности основанных на процедуре последовательного анализа Вальда.

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

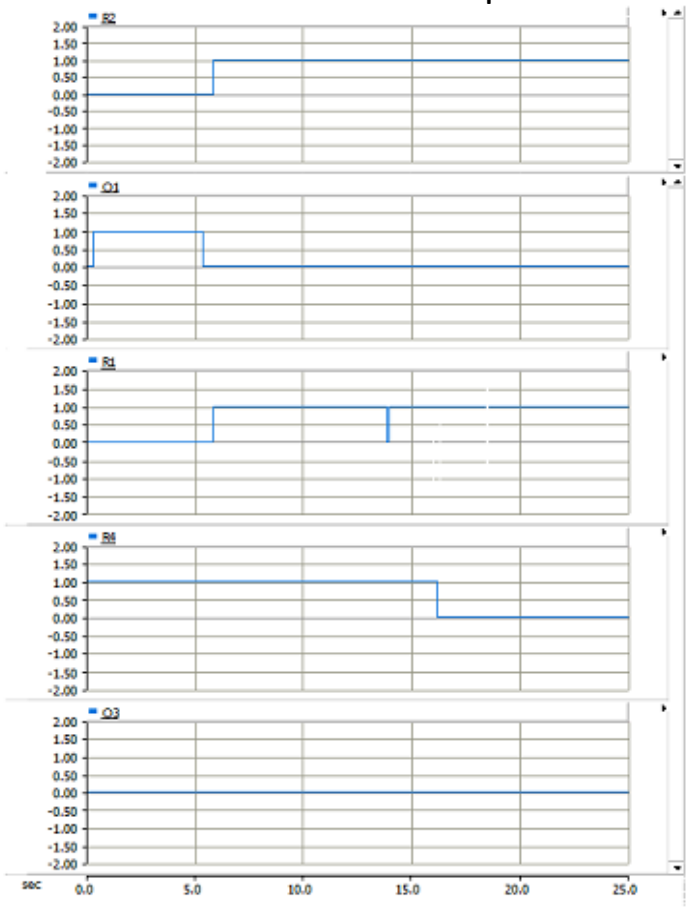
Применение PSCAD для научных исследований и ЭР

Моделирование алгоритмов работы реклоузеров

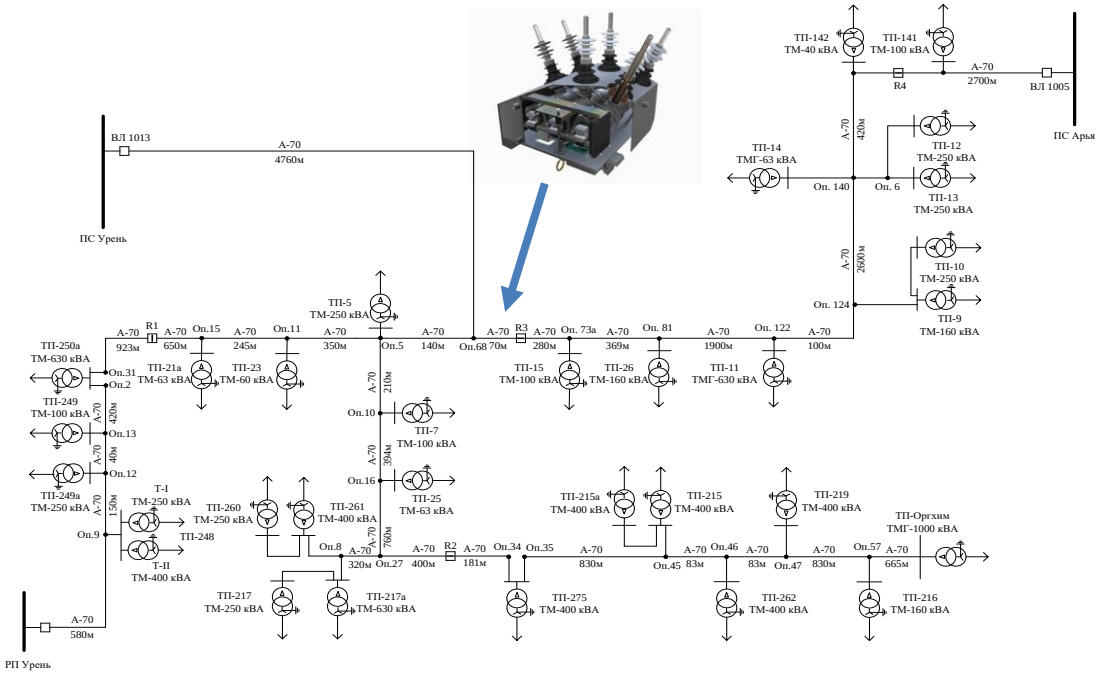
Блок-схема работы алгоритма по локализации повреждения



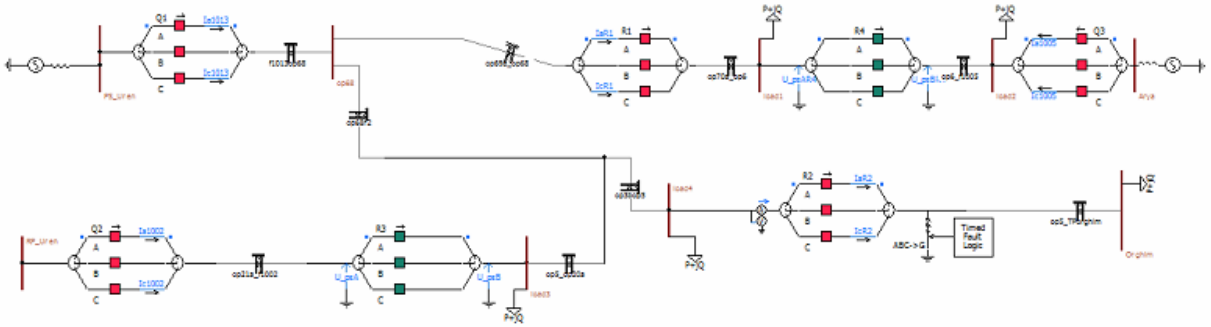
Графики включения и отключения выключателей при КЗ



Моделируемый участок электрической сети



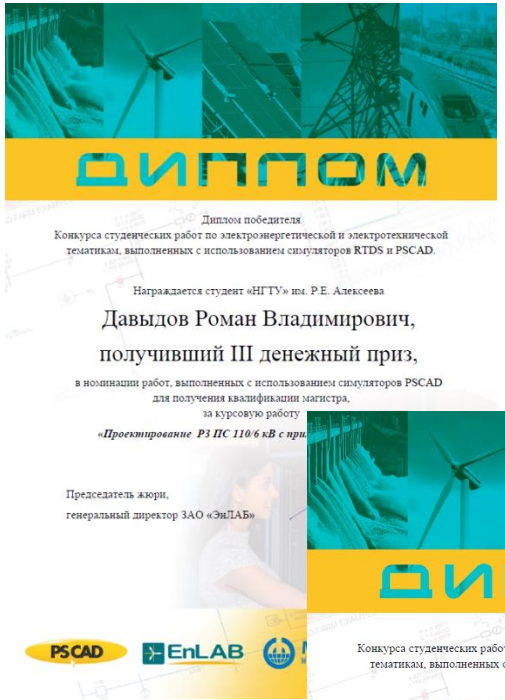
Модель участка электрической сети



- Разработан автономный алгоритм локализации места повреждения на радиальных воздушных линиях 6-35 кВ и опробован на имитационной модели в PSCAD

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Участие во всероссийском конкурсе студенческих работ с использованием симулятора PSCAD


ДИПЛОМ

Диплом победителя
Конкурса студенческих работ по электроэнергетической и электротехнической тематикам, выполненных с использованием симуляторов RTDS и PSCAD.

Награждается студент «НГТУ» им. Р.Е. Алексеева

Давыдов Роман Владимирович,

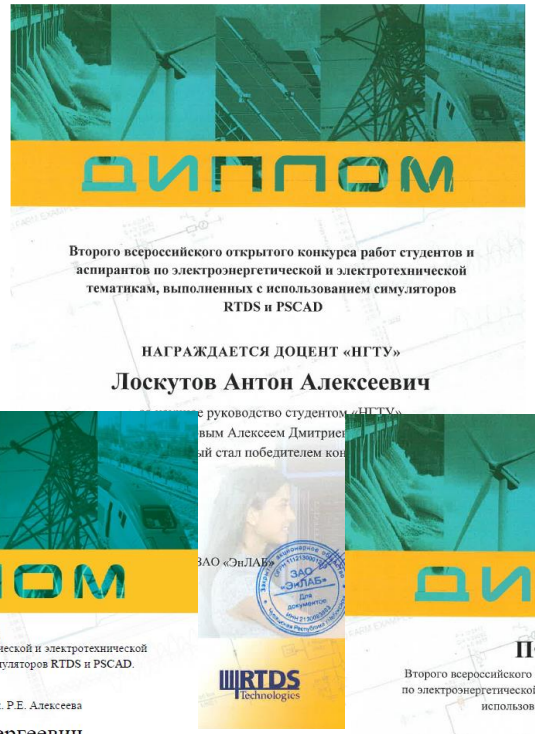
получивший III денежный приз,

в номинации работ, выполненных с использованием симуляторов PSCAD для получения квалификации магистра, за курсовую работу

«Проектирование РЗ ПС 110/6 кВ с при...

Председатель жюри,
генеральный директор ЗАО «ЭнЛАБ»

PSCAD EnLAB


ДИПЛОМ

Второго всероссийского открытого конкурса работ студентов и аспирантов по электроэнергетической и электротехнической тематикам, выполненных с использованием симуляторов RTDS и PSCAD

НАГРАЖДАЕТСЯ ДОЦЕНТ «НГТУ»

Лоскутов Антон Алексеевич

...е руководство студентом «НГТУ»
...вым Алексеем Дмитриев...
...ый стал победителем кон...

ЗАО «ЭнЛАБ»

RTDS Technologies


ДИПЛОМ

Диплом победителя
Конкурса студенческих работ по электроэнергетической и электротехнической тематикам, выполненных с использованием симуляторов RTDS и PSCAD.

Награждается студент «НГТУ» им. Р.Е. Алексеева

Пелевин Павел Сергеевич,

получивший I денежный приз,

в номинации работ, выполненных с использованием симуляторов PSCAD для получения квалификации магистра, за выпускную квалификационную работу

«Автоматическое повторное включение кабельно-воздушных ЛЭП с использованием волновых портретов повреждений».

Председатель жюри,
генеральный директор ЗАО «ЭнЛАБ» М.А. Шамис

PSCAD EnLAB Manitoba HYDRO INTERNATIONAL RTDS Technologies


ДИПЛОМ

ПОБЕДИТЕЛЯ

Второго всероссийского открытого конкурса работ студентов и аспирантов по электроэнергетической и электротехнической тематикам, выполненных с использованием симуляторов RTDS и PSCAD

Награждается студентка «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

Пронина Ольга Александровна,

занявшая III место

в номинации работ, выполненных с использованием симулятора PSCAD, за выпускную квалификационную работу магистра

«Разработка методов расчета и оптимизации режимов работы замкнутых сетей»

Председатель жюри,
генеральный директор ЗАО «ЭнЛАБ» М.А. Шамис

EnLAB RTDS Technologies Manitoba HYDRO INTERNATIONAL

Выводы

Применение программного комплекса PSCAD в НГТУ им. Р. Е. Алексеева позволяет:

- развивать у магистрантов навыки имитационного моделирования;
- повысить эффективность изучения сложных электротехнических дисциплин;
- анализировать переходные режимы работы объектов генерации, передачи и распределения электроэнергии, силовой электроники;
- облегчить процесс восприятия лекционного материала по читаемым дисциплинам;
- создавать и отрабатывать алгоритмы и логику работы существующих и разрабатываемых устройств защиты и управления, автоматики нормальных режимов и аварийных режимов;
- моделировать с высокой точностью волновые электромагнитные переходные процессы – сигналы тока и напряжения.

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. Алексеева

Спасибо за внимание!

Лоскутов Антон Алексеевич

к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника»

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

тел. +7 908-158-63-66

loskutov.nnov@gmail.com