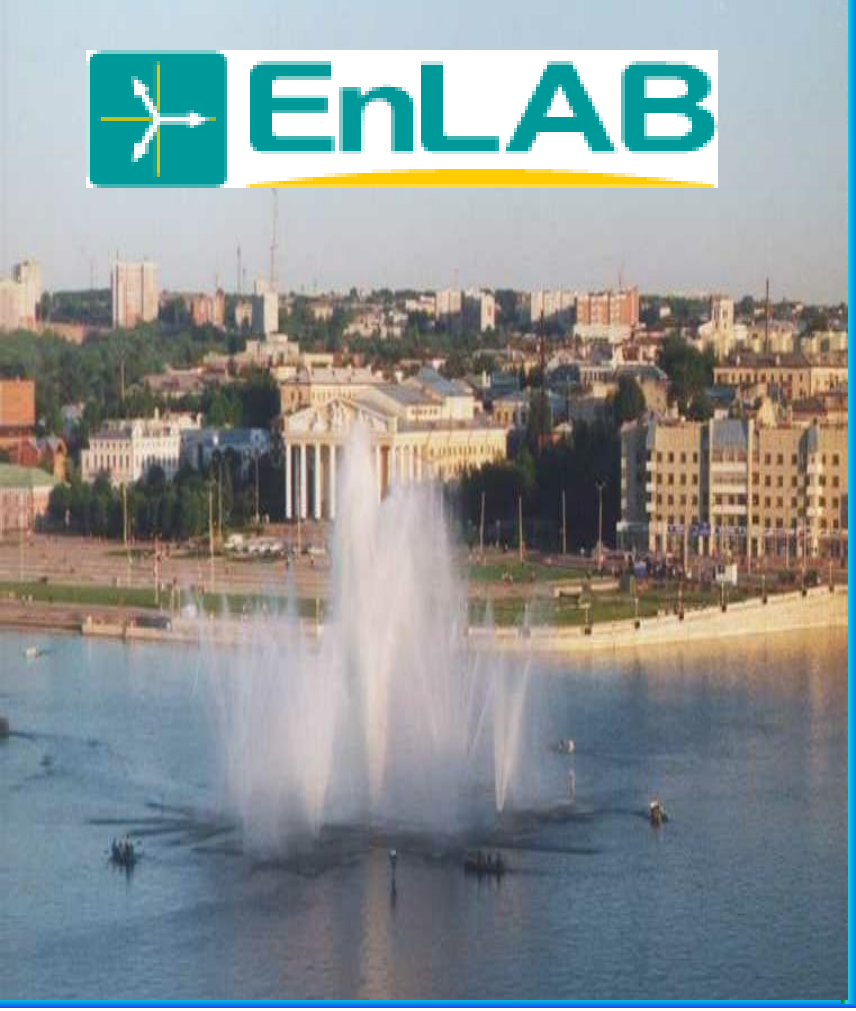


Задачи и технологии моделирования РЗА

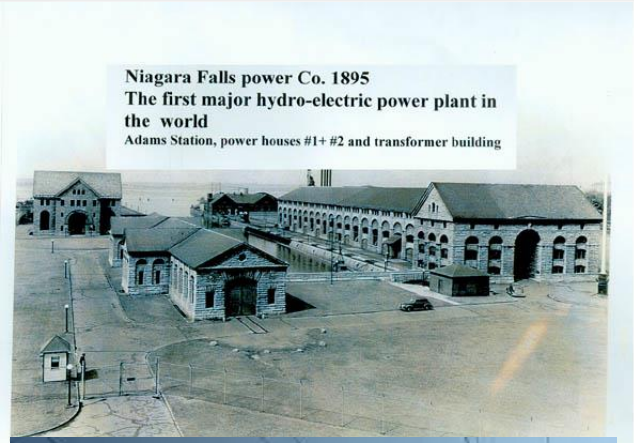
Моделирование переходных процессов – роскошь или необходимость?

Автор: Янез Законьшек

Международная выставка производителей оборудования релейной защиты и автоматики

25-27 мая 2016 года, г. Москва

О чем я буду говорить

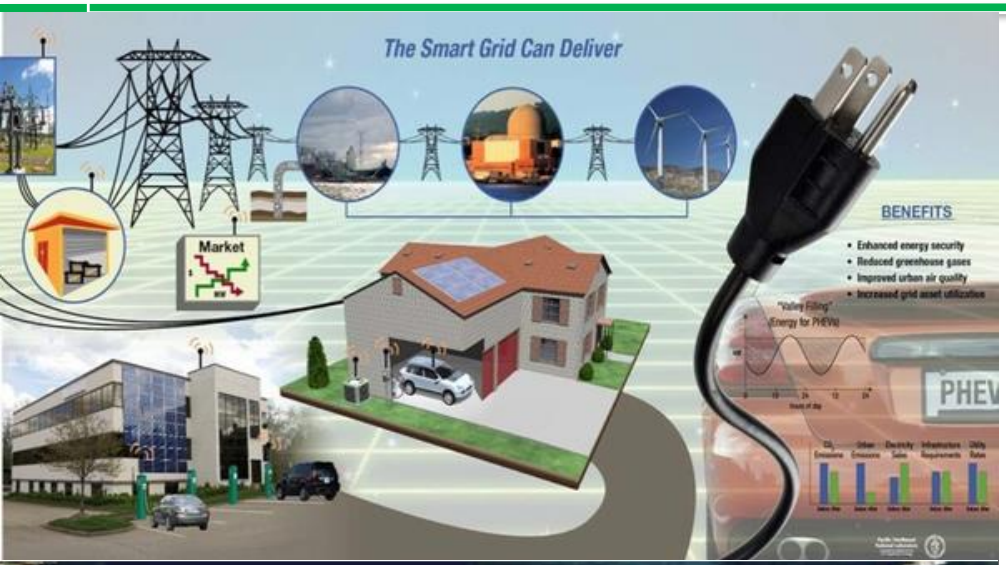


- Задачи современных энергосистем
- Различные типы моделирования в зависимости от назначения
- Типы моделирования, относящиеся к релейной защите, автоматике и управлению
  - IEC 60255 – 121
  - Немного об истории моделирования энергосистем
  - На пути к активно-адаптивным (smart grid) и супер сетям (super grid)
- Можем ли мы ответить сегодня на три наиболее важных вопроса?

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

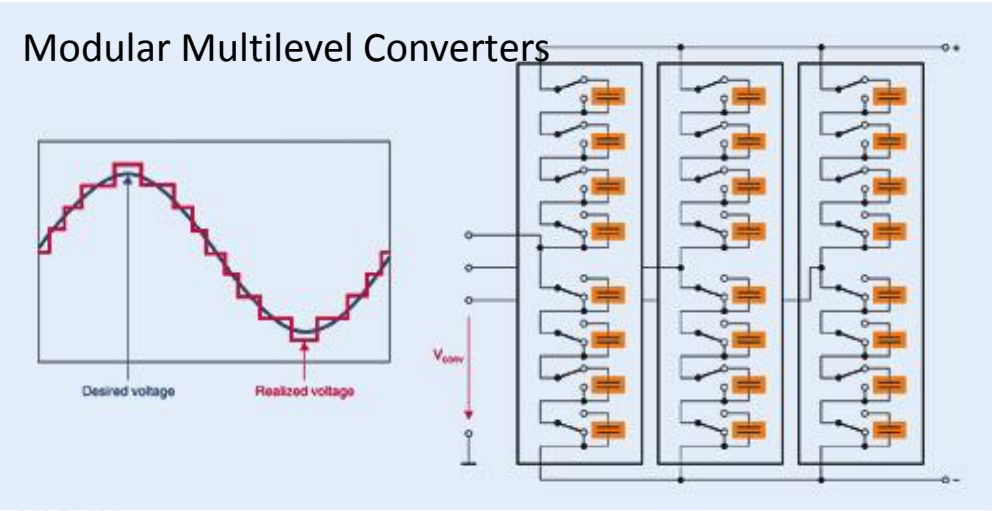
Невозможно не показать

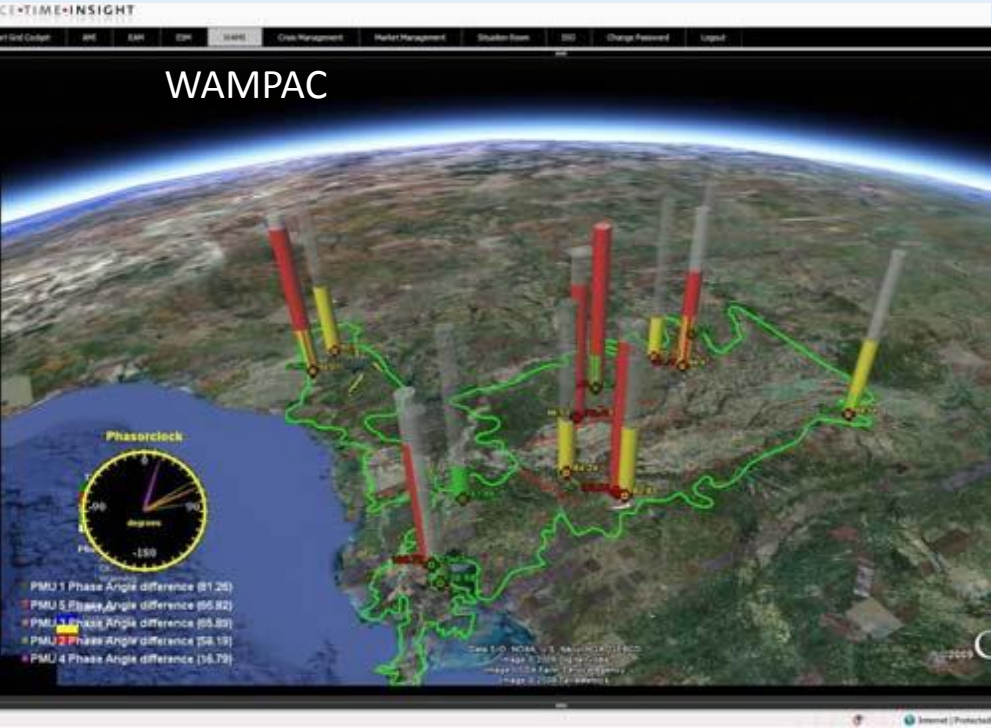
Изменения в энергосистемах колоссальны



- Особенности активно-адаптивных сетей:
  - использование возобновляемых ресурсов, например, ветровых и солнечных;
  - необходимость накопления энергии;
  - электрическая мобильность на переднем крае;
  - наличие распределенной генерации
- Особенности суперсетей:
  - наличие сетей переменного и постоянного тока СВН (не только линий);
  - передача мощности на большие расстояния и в различных направлениях
- Необходимы новые технологии и решения для автоматизации, защиты и управления электрических сетей в обычных и аварийных условиях

Для чего нужно моделирование?





- Новые технологии выдвигают чрезвычайно высокие требования по сокращению времени реагирования
- Сети и системы развиваются очень быстрыми темпами
- Области регулируемой системы интенсивно увеличиваются, необходимы новые решения, надежная связь (кибербезопасность)
- Время для экономии:
  - Выхода на рынок (для поставщиков)
  - Начала работы (для энергопредприятий)
- Для чего необходимо моделирование?
  Для обеспечения надежного функционирования всей энергосистемы сейчас и в будущем

Переходные процессы и необходимые методы моделирования

Процесс моделирования должен отвечать главной цели

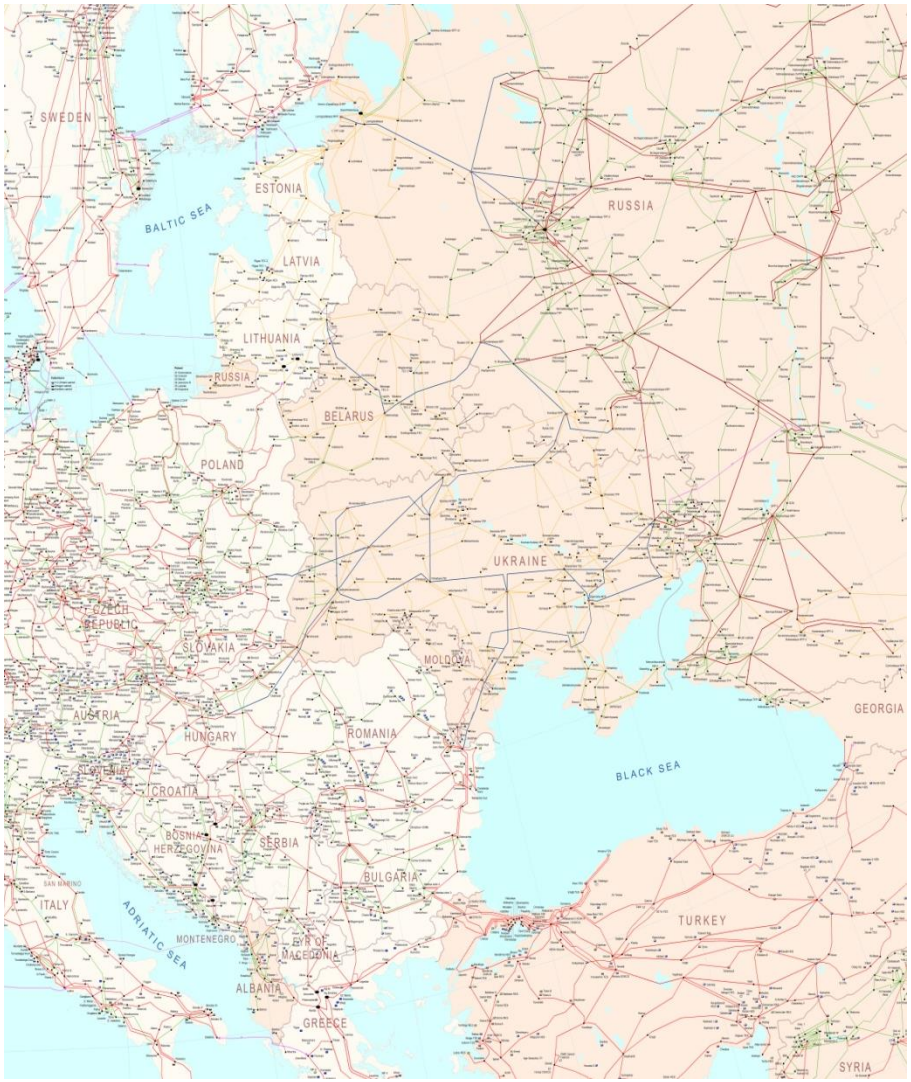
© Copyright 2016 EnLAB Ltd.- 6 -

Различные цели в зависимости от видов деятельности

- Процесс развития
  - Разработка алгоритмов (главным образом, в нереальном времени)
    - Количество сигналов (Comtrade формат), необходимых для тестирования алгоритма
    - Специальный (математический) инструмент, необходимый для моделирования алгоритма
    - Испытания необходимо повторять на реальном аппаратном обеспечении (для проверки частей, не входящих в сам алгоритм) и в реальных условиях системы
- Процесс сертификации
  - Требования, предъявляемые к конкретной сети, тестированию в режиме замкнутого цикла в реальном времени
    - Одинаковые для всех заинтересованных разработчиков (производителей)
    - Должны определяться однозначно
- Испытания, связанные с разработкой проекта
  - Тестирование в режиме замкнутого контура в реальном времени в специальных заданных условиях (технические параметры)
    - Моделированию и тестированию подлежат все ожидаемые рабочие условия
    - Оптимизируются уставки
    - Система моделирования должна быть готова к изменениям по мере изменения первичной системы

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

Моделирование алгоритмов для симуляторов

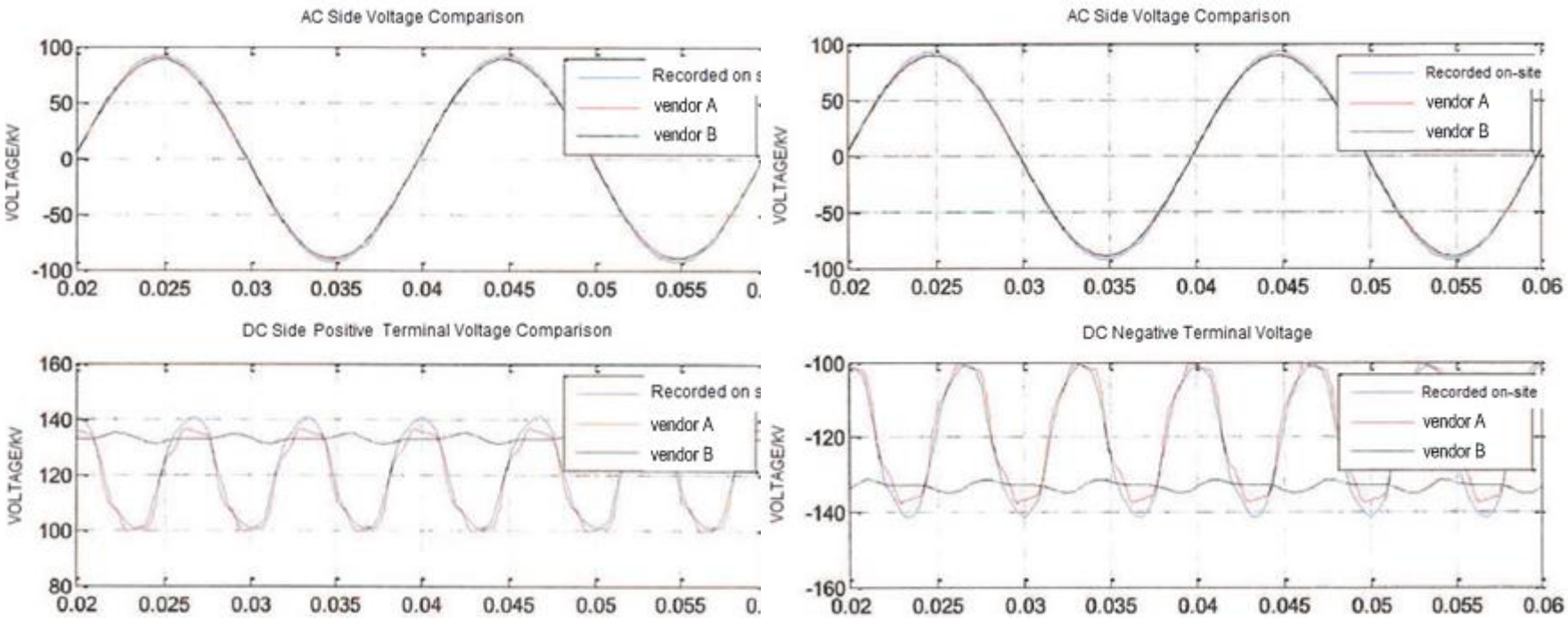


- Современные сети сложные – расчет уставок требует большого внимания
- Модели алгоритмов могут использоваться с инструментами моделирования в реальном и нереальном времени
  - В режиме реального времени они просто заменяют реальное оборудование в местах, не являющихся важными для конечных результатов испытаний – просто выполняют вспомогательную, но ожидаемую функцию;
  - В инструментах расчета уставок они могут показывать срабатывание в установившемся режиме работы.
- Как правило, нет необходимости в реализации моделей в целом в математических инструментах
- Точность моделирования проверяется путем сравнения с результатами испытаний на реальном оборудовании

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

Как обеспечить высокое качество моделирования?

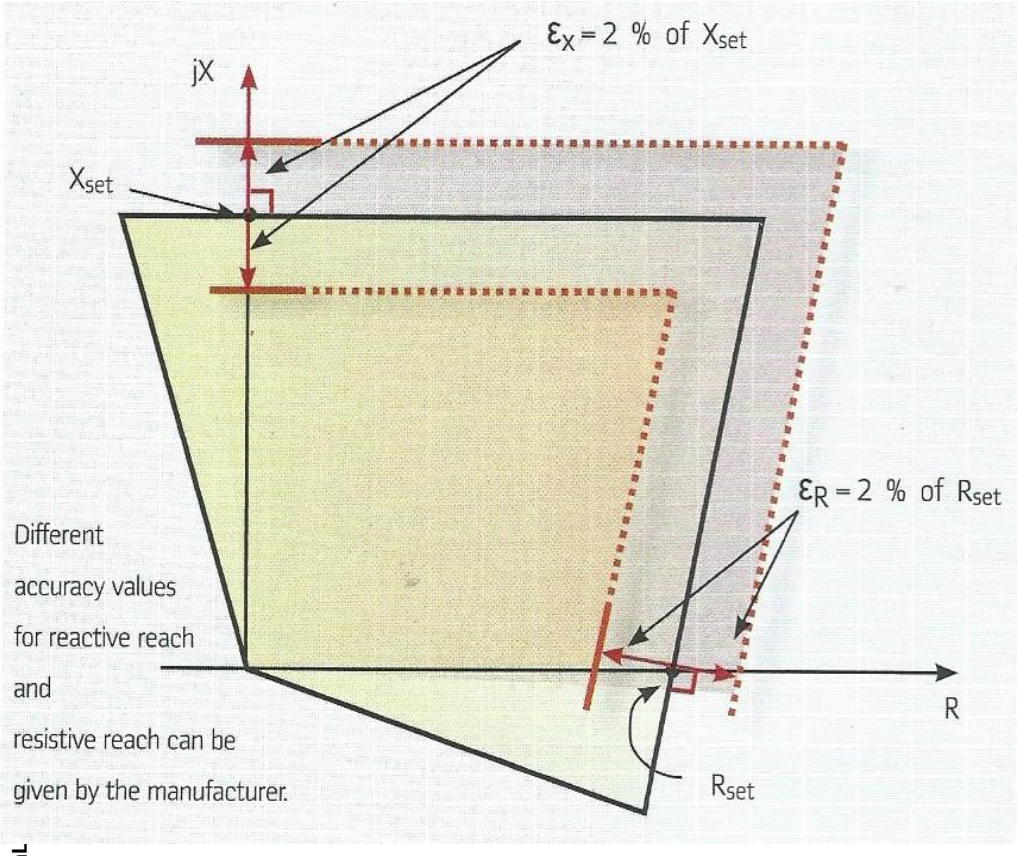
- Качество моделирования в целом, а также используемых инструментов проверяется исключительно реальной жизнью
- Кроме того, необходимо регулярно использовать дополнительные методы:
  - Сравнение с другими , хорошо зарекомендовавшими себя средствами (EMTP), например, «реальное время» с «нереальным временем»
  - Результаты, получение и зафиксированные пользователями (энергопредприятиями) на практике
  - Обмен опытом в ходе сотрудничества в рамках международных организаций (CIGRE, IEEE, UCA и т.д.)
- Ссылки



Сравнение сигналов, полученных при тестировании нерегулируемого выпрямителя ММС

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

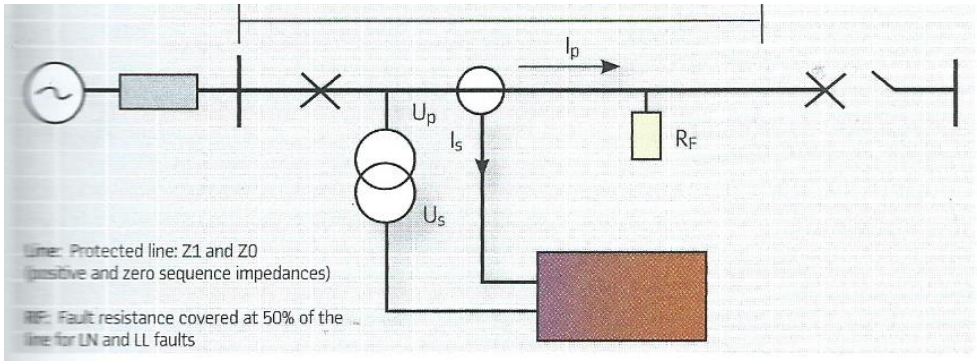
Моделирование системы для нужд РЗА

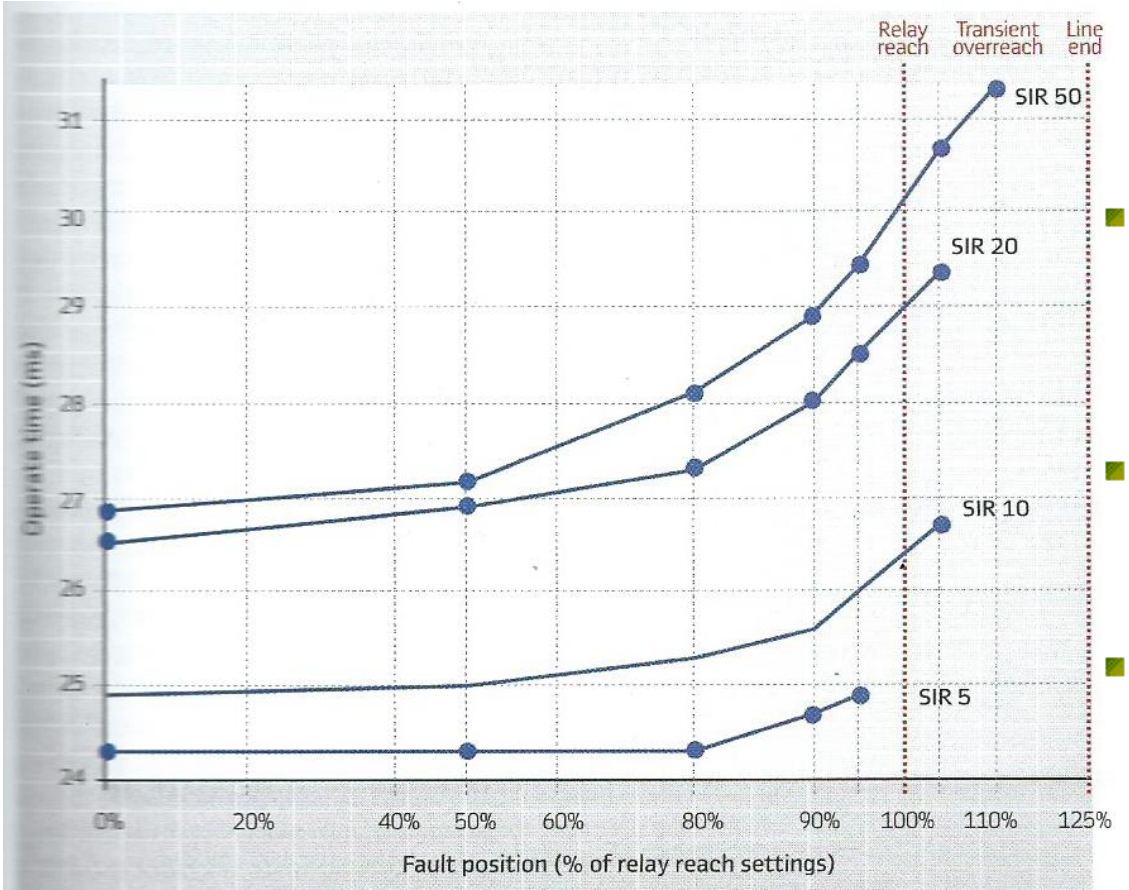


- Существует много потребностей, в том числе новый стандарт IEC 60255 - 121
- Точно определен метод измерения статической точности
- Время срабатывания и расширенная зона охвата в переходном режиме показаны при помощи SIR-диаграмм
  - Уровень тока в месте повреждения
  - Расстояние до места повреждения
  - Коэффициент полного сопротивления источника
  - Амплитуда и постоянная времени апериодических составляющих
  - Тип повреждения

© Copyright 2016 EnL

IEC 60255-121 требует SIR-диаграмм





- SIR – Отношение полного сопротивления источника к заданному полному сопротивлению
- Время срабатывания (минимальное, среднее, максимальное!) измеряется на динамической модели системы
- Должна быть также учтена переходная характеристика емкостных трансформаторов напряжения
- Необходимо провести и статистически обработать несколько тысяч испытаний
- Необходимость совершенствования в будущем

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

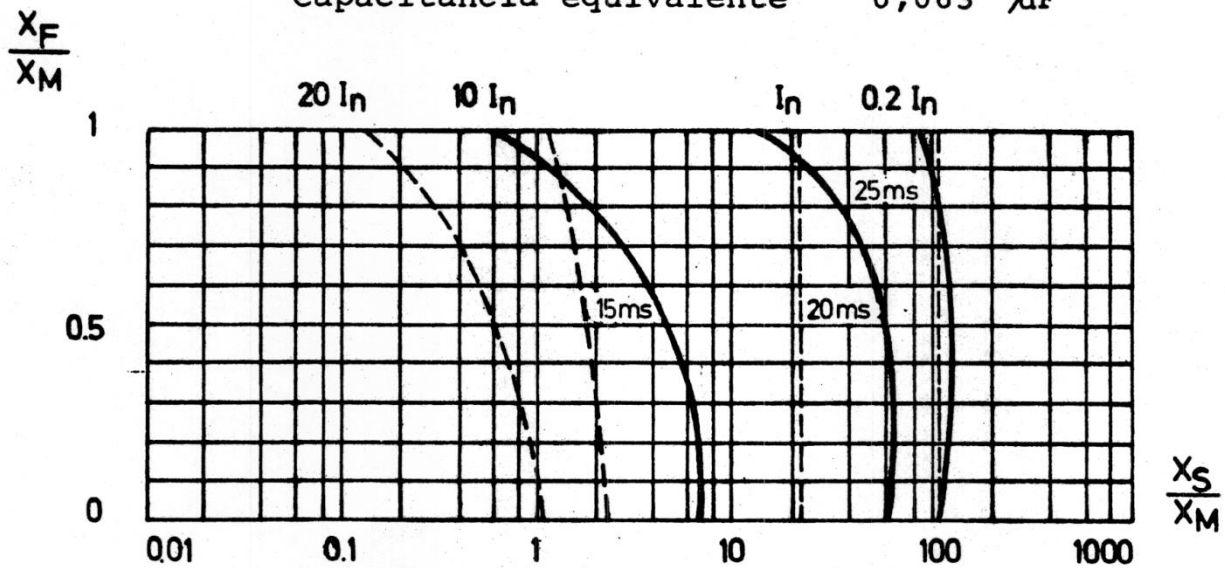
Изохронная (SIR)-диаграмма 1975 года

ASEA	FALTA BIFASICA	RFF 2333 E
Department: RFF; Year: 75; Week: 22		This document is based on licence drawing No.
Design checked by	Accepted for prod. by	Drawing checked by
Drawn by: Bo	European projection	✓ indicates R_a in μm

Sheet 2 Cont. 3

Las medidas de tiempo se efectuaron con un modelo de Transformador Divisor de Tensión Capacitivo de las siguientes características:

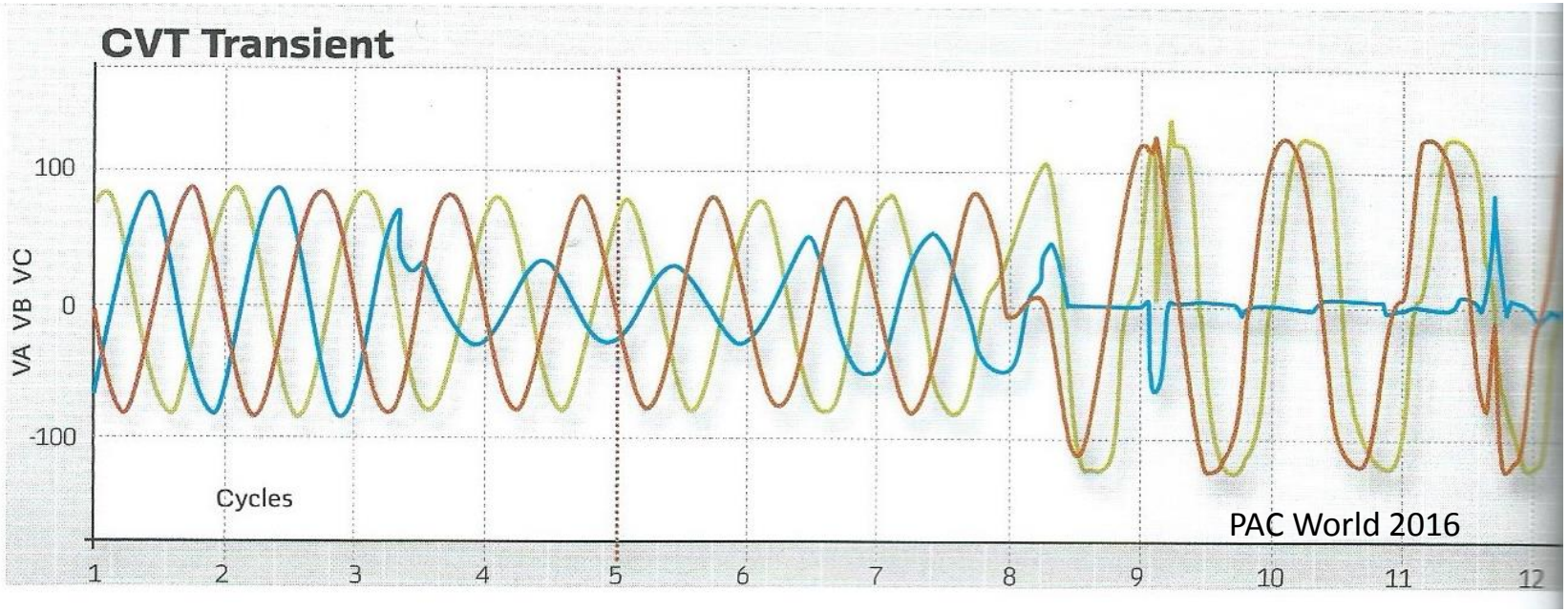
Tensión nominal primaria	$380/\sqrt{3}$ kV
Tensión intermedia	$22/\sqrt{3}$ kV
Capacitancia equivalente	0,063 μF

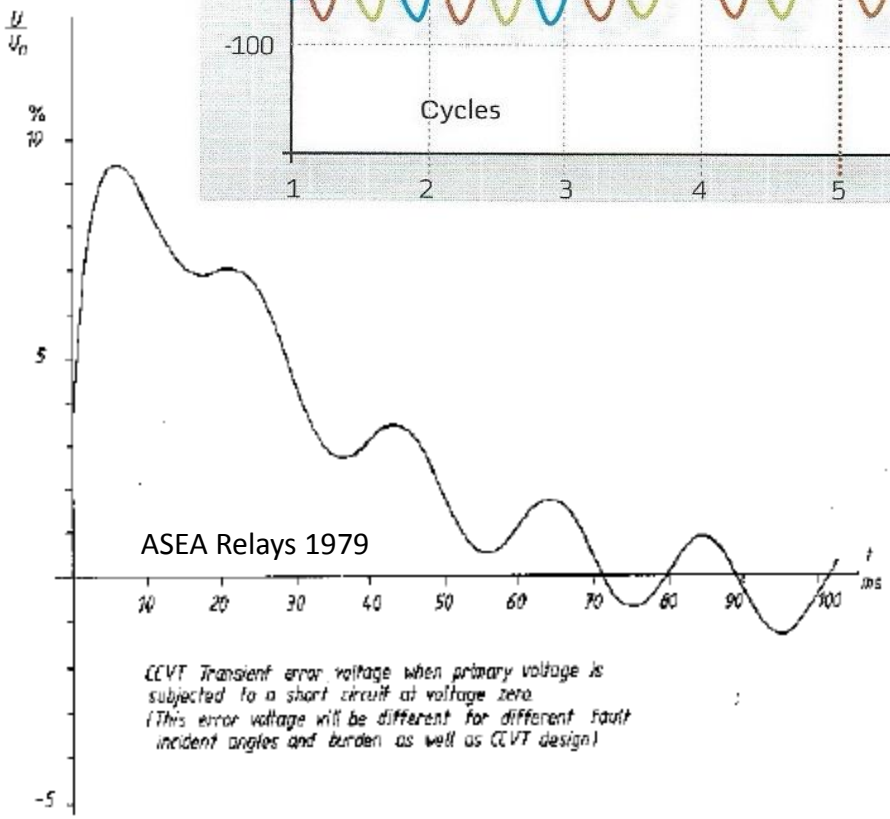


TIEMPOS MINIMOS DE OPERACION

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.- 12 -

Переходные процессы емкостного ТН, влияющие на дистанционную защиту

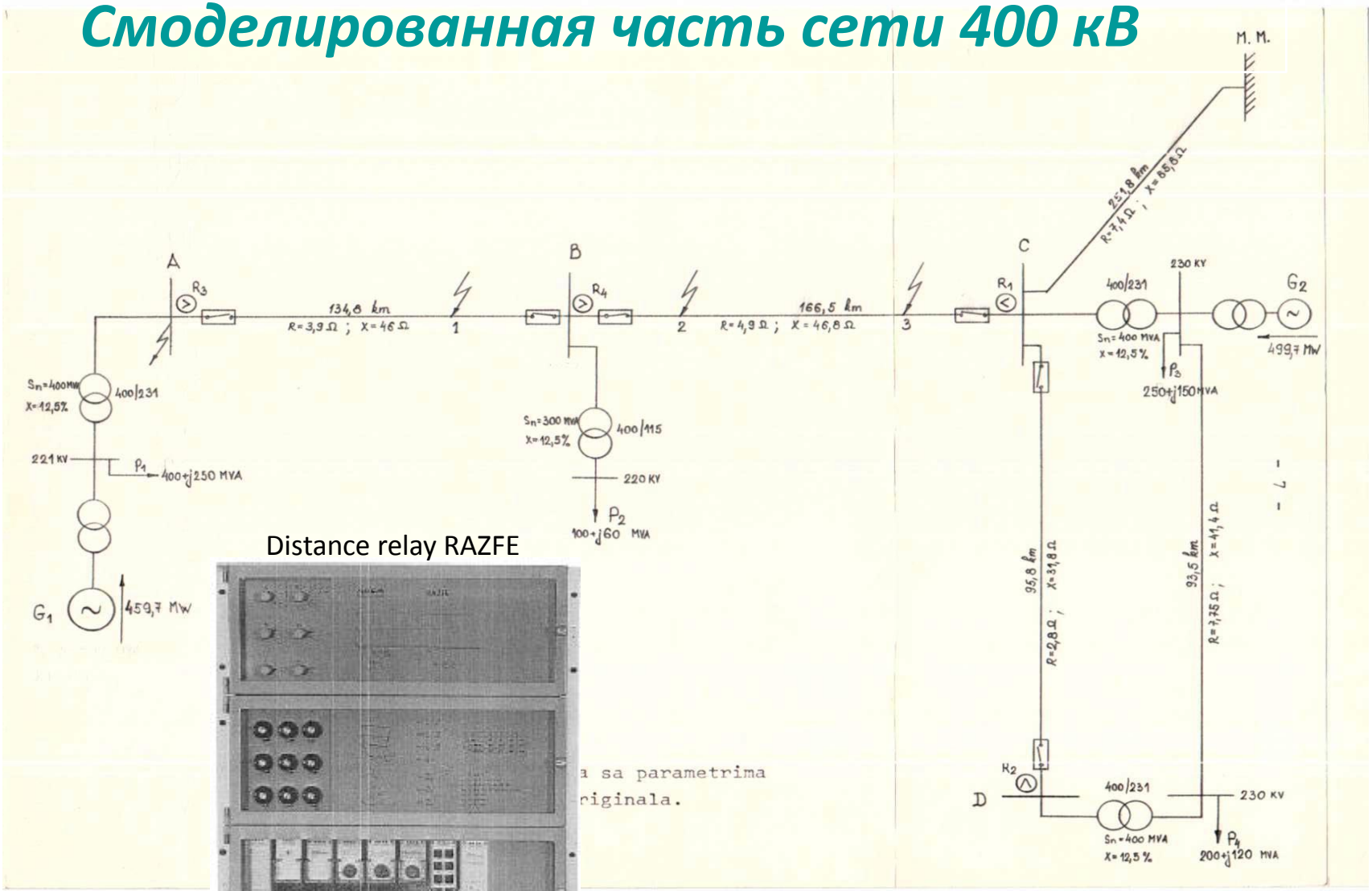




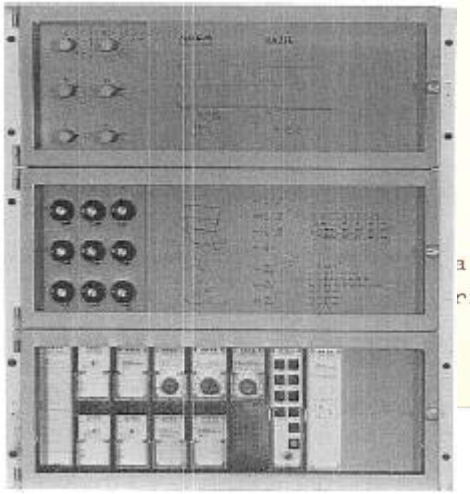
- Многие другие переходные процессы оказывают влияние на функционирование дистанционной защиты, а также практически на все другие функции защиты, управления и автоматики в современных энергосистемах

Mikromreža Сараево (Югославия) 1978 год

Смоделированная часть сети 400 кВ

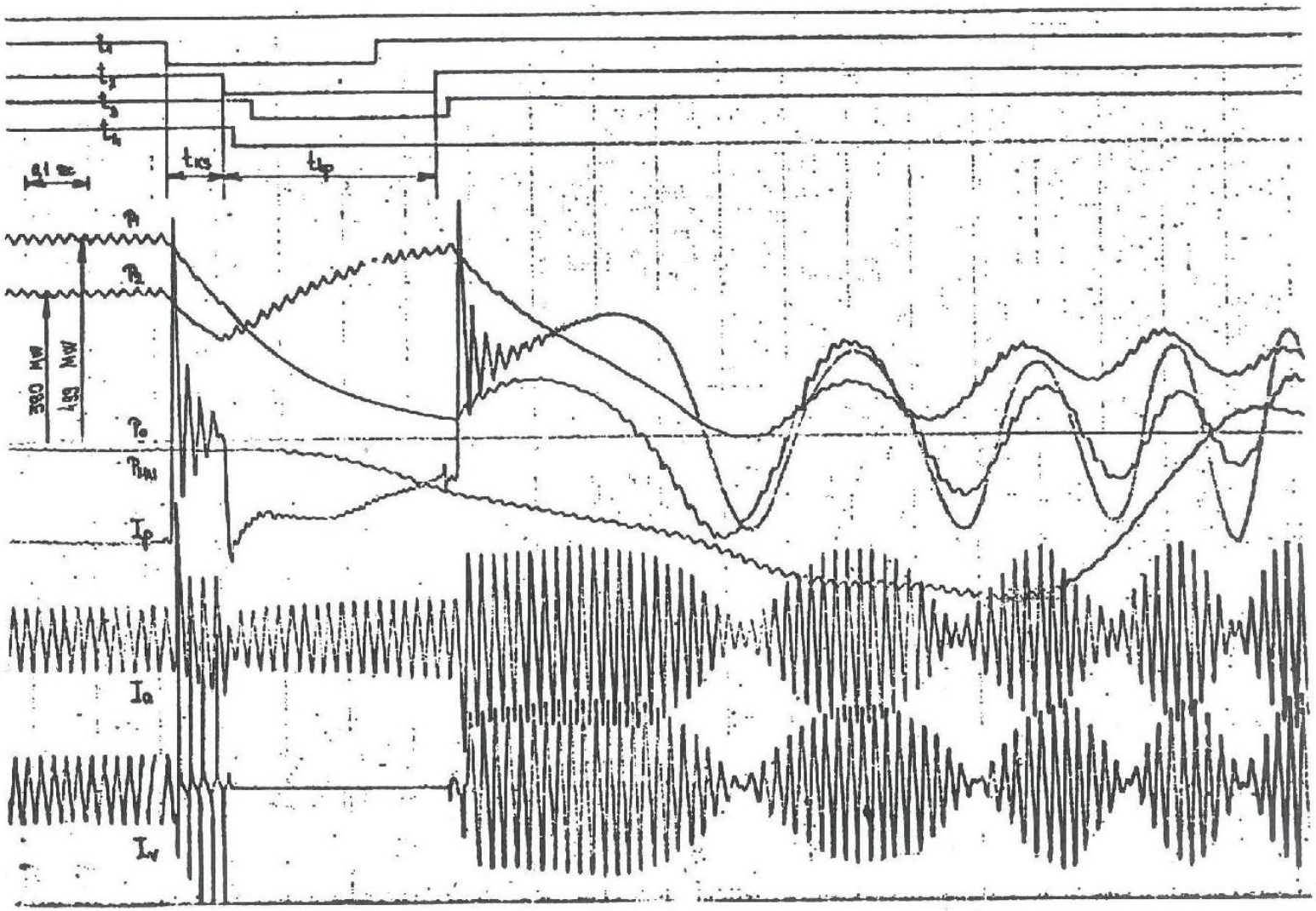


Distance relay RAZFE



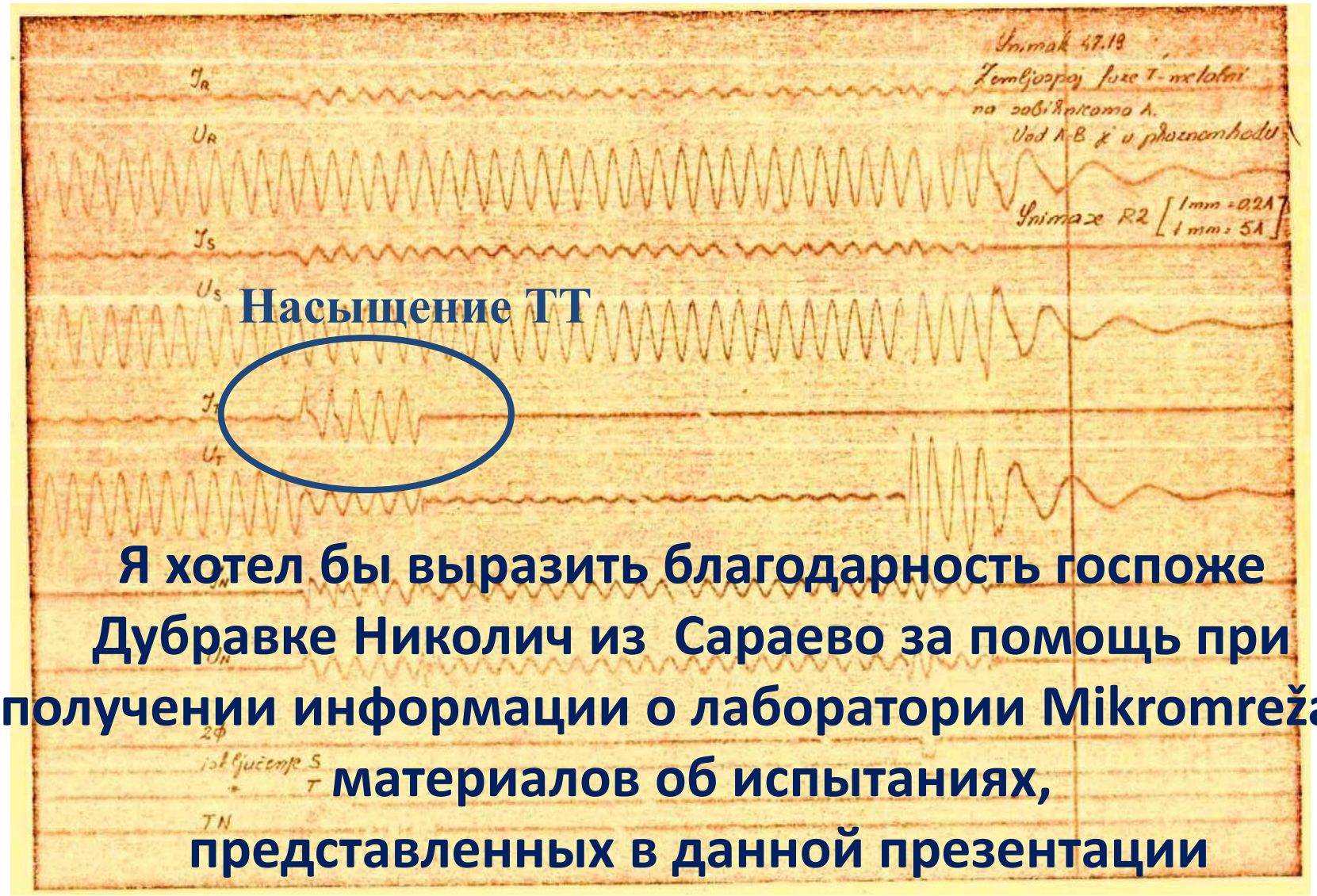
© Copyright 2016 EnLAB Ltd.- 14 -

Mikromreža Сараево (Югославия) 1978 год



© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

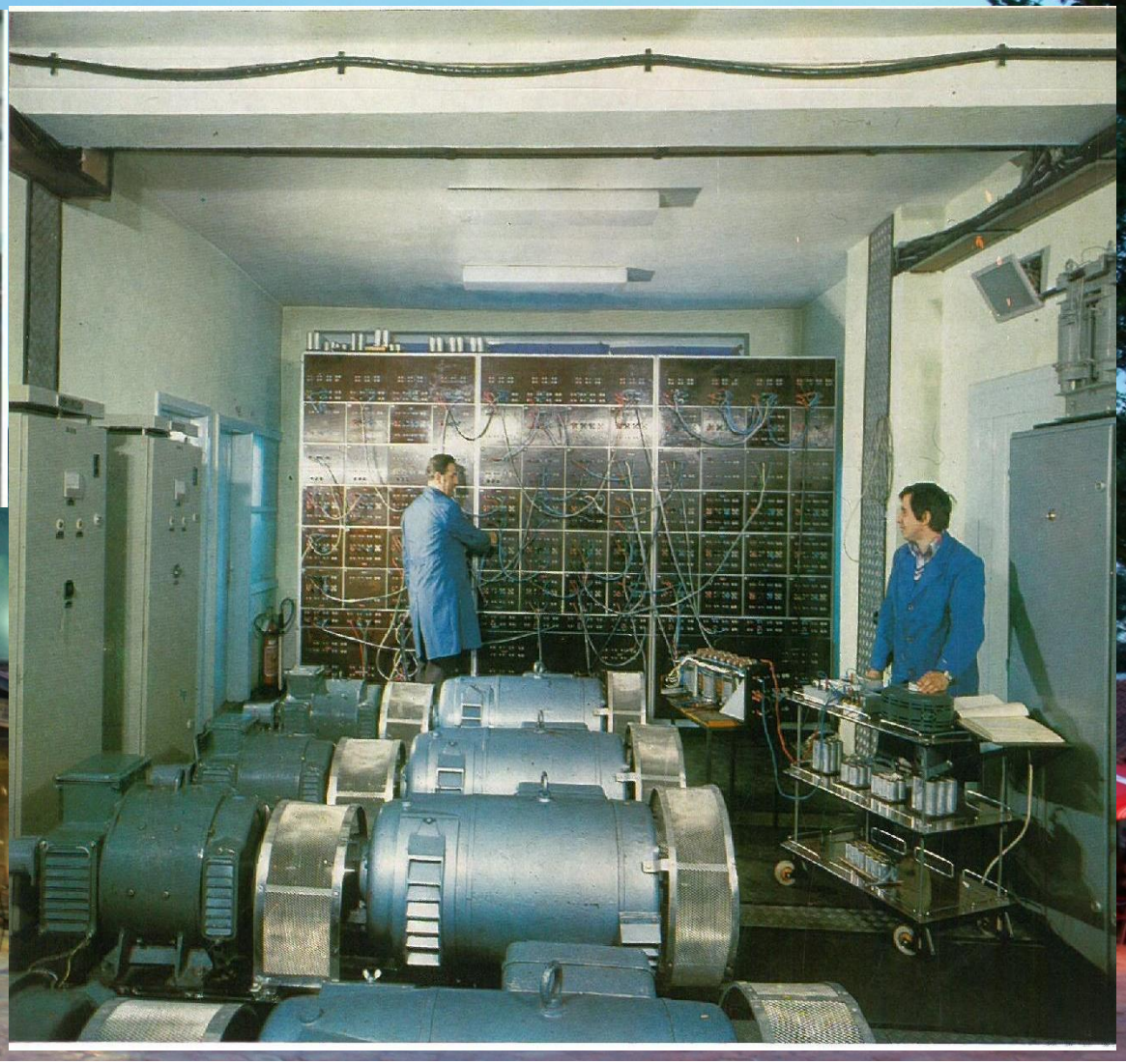
Немного ностальгии (1978 год)



Я хотел бы выразить благодарность госпоже Дубравке Николич из Сараево за помощь при получении информации о лаборатории Mikromreža и материалов об испытаниях, представленных в данной презентации

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.- 16 -

Mikromreža Сараево (Югославия) 1974 год



© Cop

China EPRI (Пекин) 1994 год

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

Где мы находимся сегодня?

- На сегодняшний день мы имеем три основные возможности моделирования, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками:
  - Электромеханические модели реального времени
  - Цифровые автономные компьютерные модели
  - Цифровые симуляторы реального времени, работающие в режиме замкнутого контура
- Два основных преимущества работы Германа Доммеля опубликованной в апреле 1969 года, заключаются в следующем:
  - Простота, благодаря которой вся моделированная сеть сводится к нескольким источникам тока и активным сопротивлениям, по которым несложно построить матрицу Y
  - Надежность, когда EMTP (Программа расчёта электромагнитных переходных процессов) использует правило трапеций, которое представляет собой численно устойчивый и надёжный алгоритм интегрирования

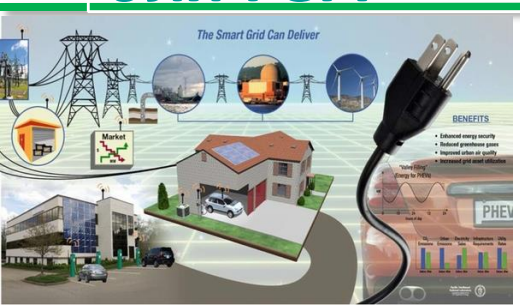
© Copyright 2016 EnLAB Ltd.

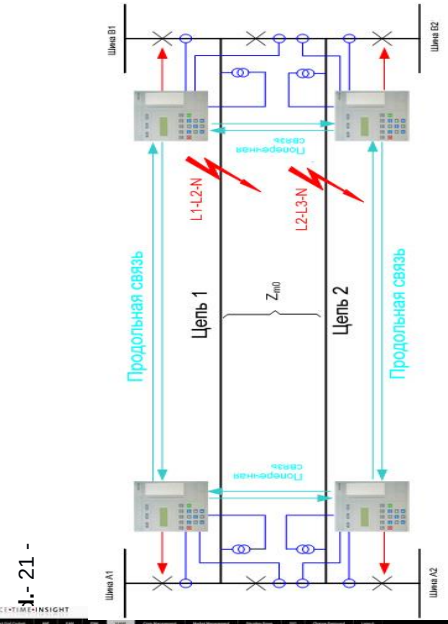
На пути к активно-адаптивным и супер сетям

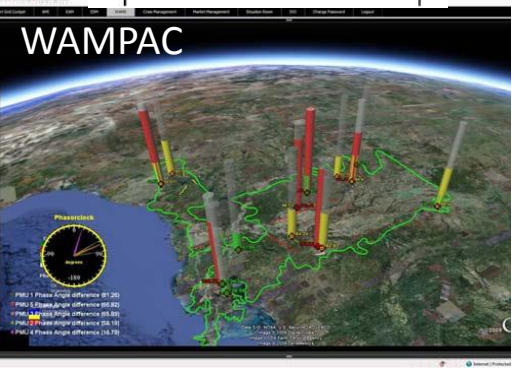
- Практически “Миссия невыполнима” без современных инструментов моделирования
- Цифровое ПО нереального времени обеспечивает отличные инструменты разработки для всех диапазонов частот, воспроизведение файлов используется для тестирования
- Цифровое моделирование в реальном времени в режиме замкнутого цикла – последний шаг к достижению необходимого качества – надежности несрабатывания и надёжности срабатывания

© Copyright 2

Современные инструменты моделирования для РЗА



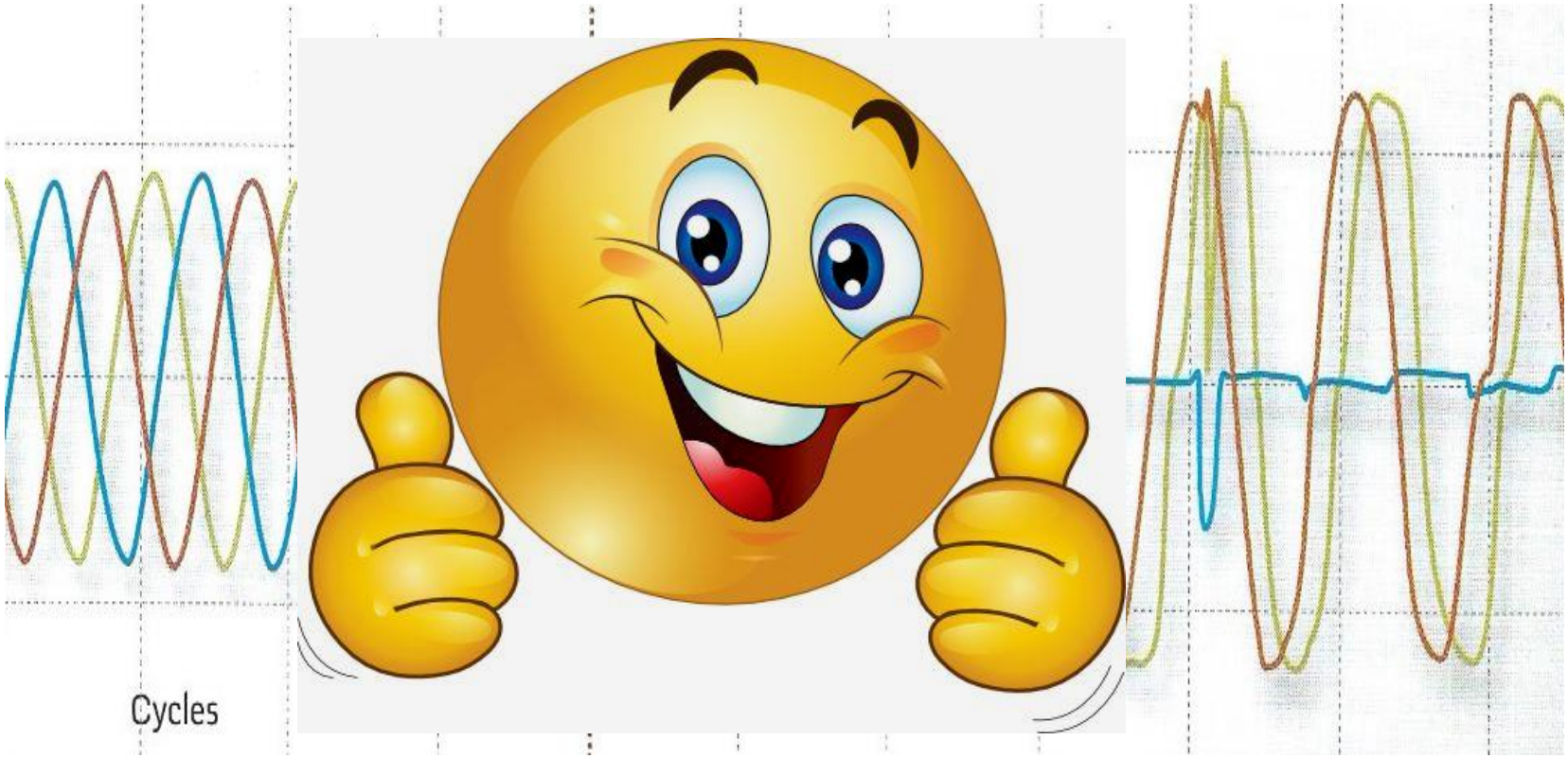




- РЗА – последний рубеж, предупреждающий системную аварию
- Новые технологии проникают в мир РЗА:
  - Активно-адаптивные и супер сети (межконтинентальные)
  - Нетрадиционные ТТ и ТН
  - Интеллектуальное первичное оборудование
  - IEC 61850 с расширенными возможностями связи
  - Синхрофазоры с устройствами векторных измерений (PMU) и противоаварийной автоматикой (SIPS)
- Необходимо ответить на следующие вопро
  - Сработает, когда нужно? **Наверное**
  - Не сработает, когда не надо? **Будем надеяться**
  - Что произойдет после устранения повреждения и изменения системы? **Понятия не имею!**

Почему этот релейщик так счастлив?

Спасибо за внимание!



А потому, что он всегда использует отличные инструменты моделирования энергосистем!

© Copyright 2016 EnLAB Ltd.