



ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Моделирование энергосистем в Engae для полунатурных испытаний РЗА

Тимофеев Даниил

Лаборатория ЦМвЭЭ ЦИТМ «Экспонента»

HiL-тестирование в Engее

План:

01

Теория: Модельно – ориентированное проектирование и разработка с использованием Engее и КПМ РИТМ

02

Практика: Создание моделей ЭЭС в Engее для испытаний оборудования

03

Примеры: Работа КПМ РИТМ и Engее с терминалом РЗА и успешные кейсы клиентов

e^x ЭКСПОНЕНТА

Моделирование электроэнергетических систем в Engее

Смотрите вебинар в записи

▶ Выкладываем запись вебинара Engее

Коллеги, на этой неделе мы подобрали для вас запись вебинара о российской платформе модельно-ориентированного проектирования Engее в электроэнергетике

➔ Переходите по [ссылке](#) для доступа к записи

Моделирование в электроэнергетике

В Engee

- 01 Среда для разработки сложных технических систем не привязанная к сторонним аппаратным комплексам
- 02 Проведение исследований, разработки и моделирования
- 03 Проведение технических расчетов и анализа



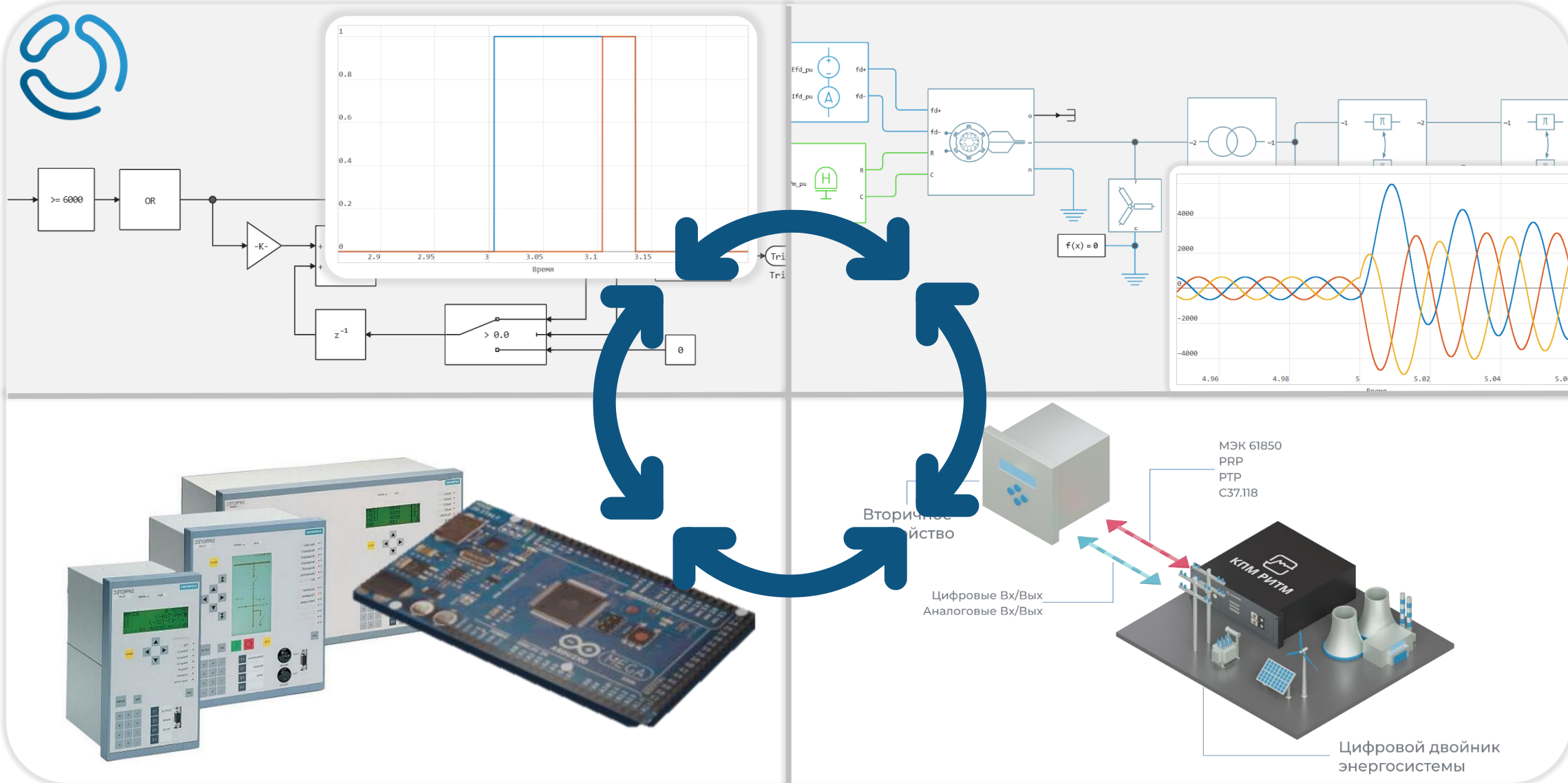
С реальным временем



- 01 Использование программно-аппаратных комплексов моделирования в реальном времени
- 02 Различные виды тестирования вторичных или первичных устройств, систем и оборудования
- 03 Быстрое прототипирование, отладка при разработке



МОП для энергетики



Среда динамического моделирования

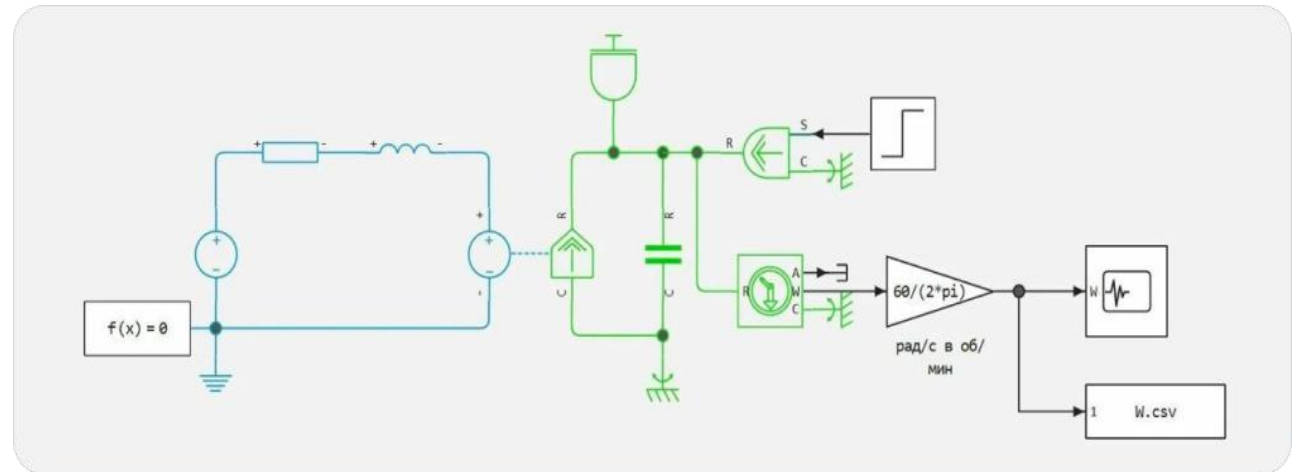


Engee

Основа для МОП и графического моделирования с помощью привычных блок-схем из базовых и специализированных прикладных библиотек.

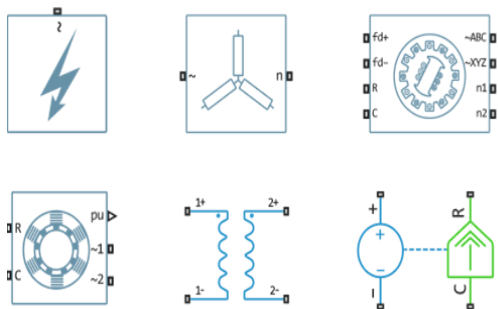
Многоуровневое моделирование для построения архитектур систем

Мультидоменное моделирование алгоритмов и физических систем

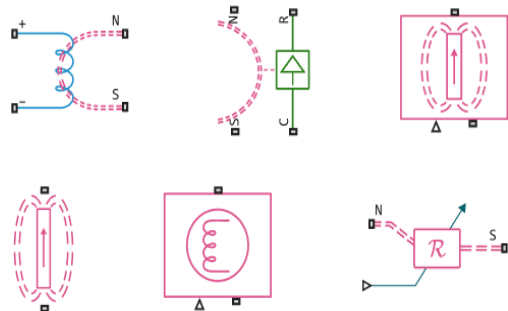


Engoe: моделирование «физики»

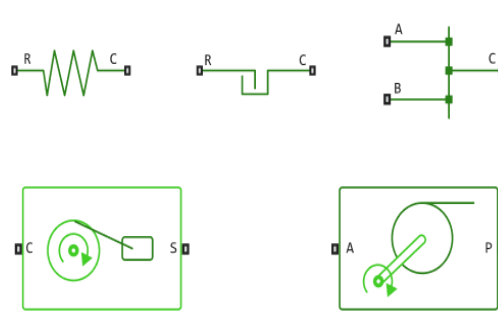
Электричество



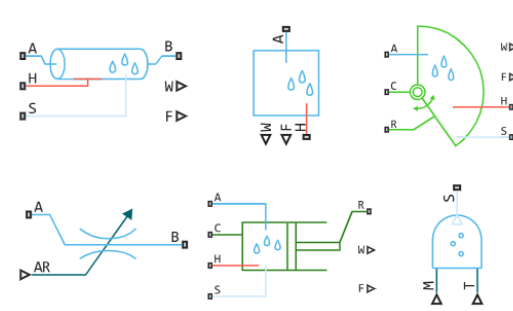
Магнетизм



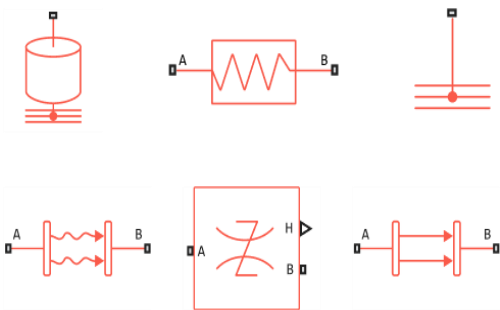
Механика



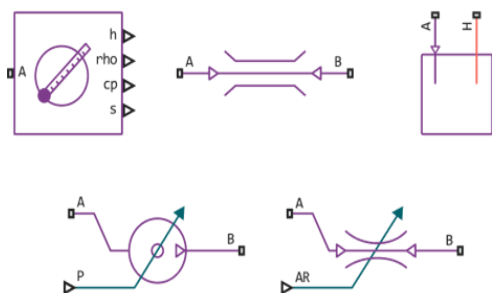
Влажный воздух



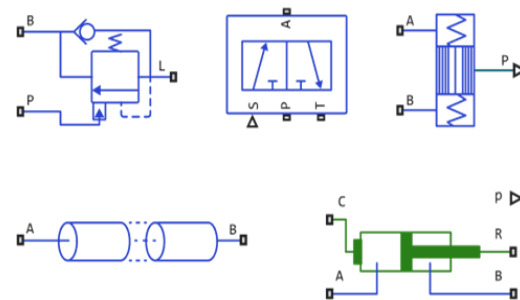
Теплотехника



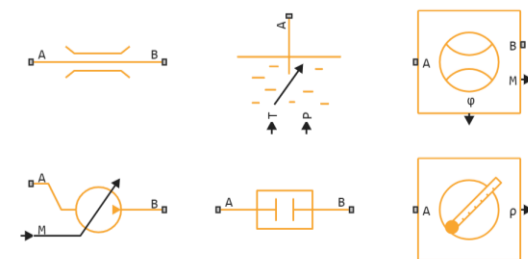
Газ



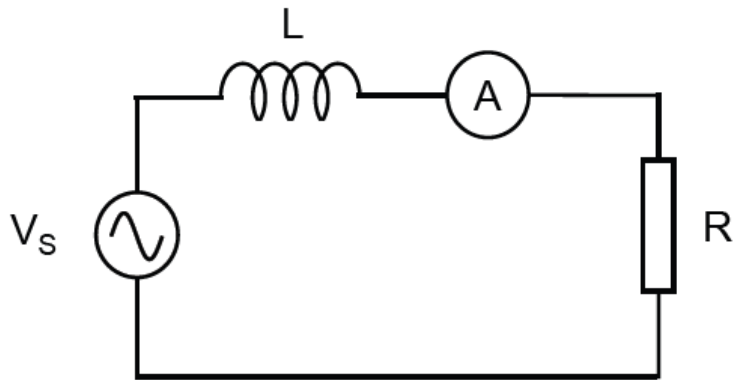
Гидравлика



Теплопроводная жидкость



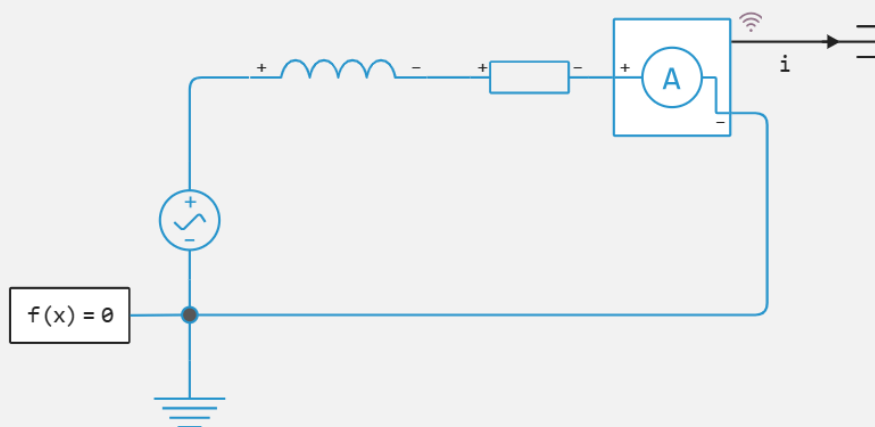
Физическое моделирование



Задача:

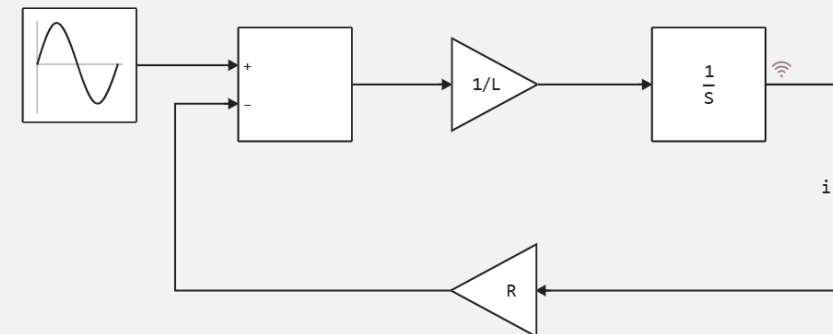
Создать модель и исследовать простую электрическую цепь

Физическое моделирование

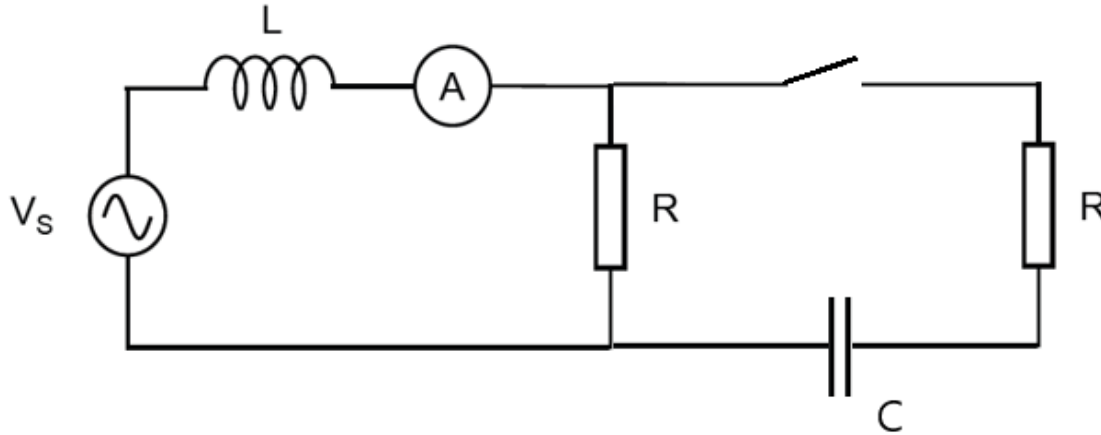


$$L \frac{dI}{dt} = V_s - IR$$

Моделирование математическими блоками



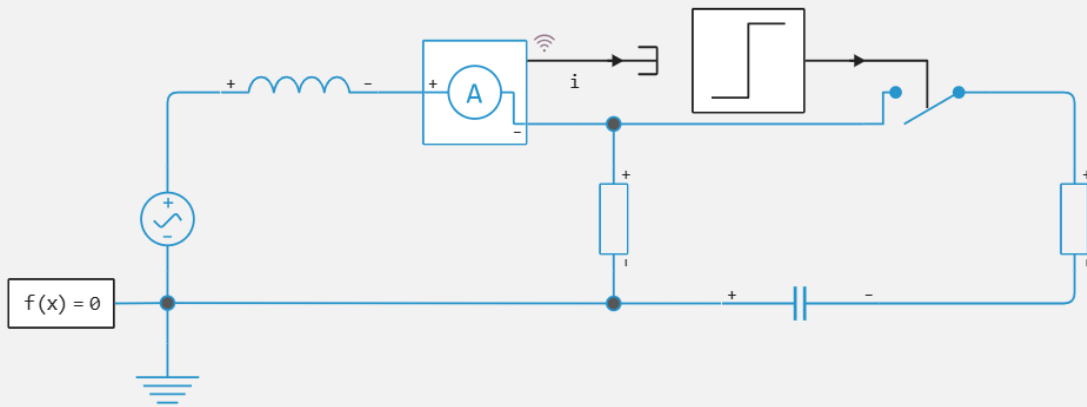
Физическое моделирование



Задача:

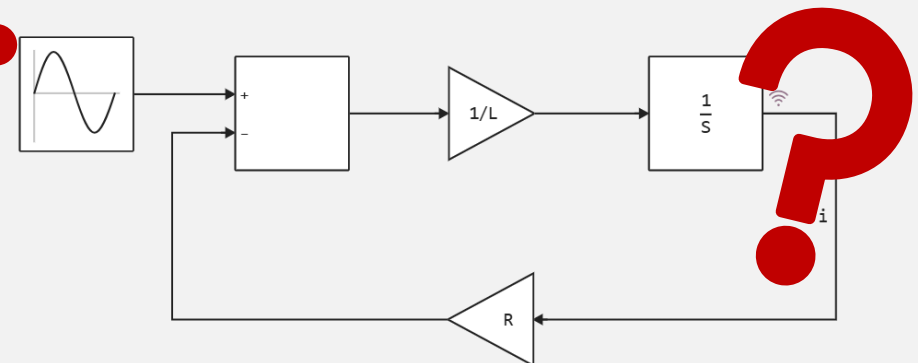
Создать модель и исследовать простую электрическую цепь

Физическое моделирование

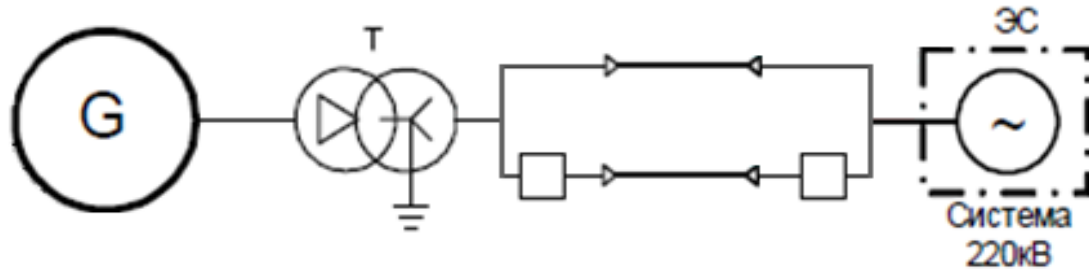


$$L \frac{dI}{dt} = V_s - IR$$

Моделирование математическими блоками



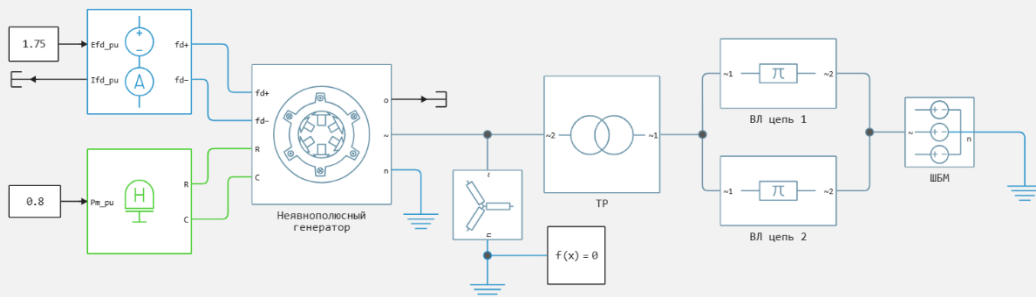
Физическое моделирование



Задача:

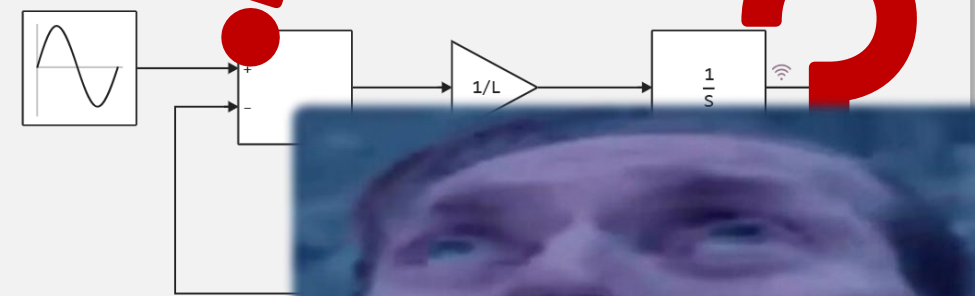
Создать модель и исследовать блок генератор-трансформатор

Физическое моделирование



$$L \frac{dI}{dt} = V_s - IR$$

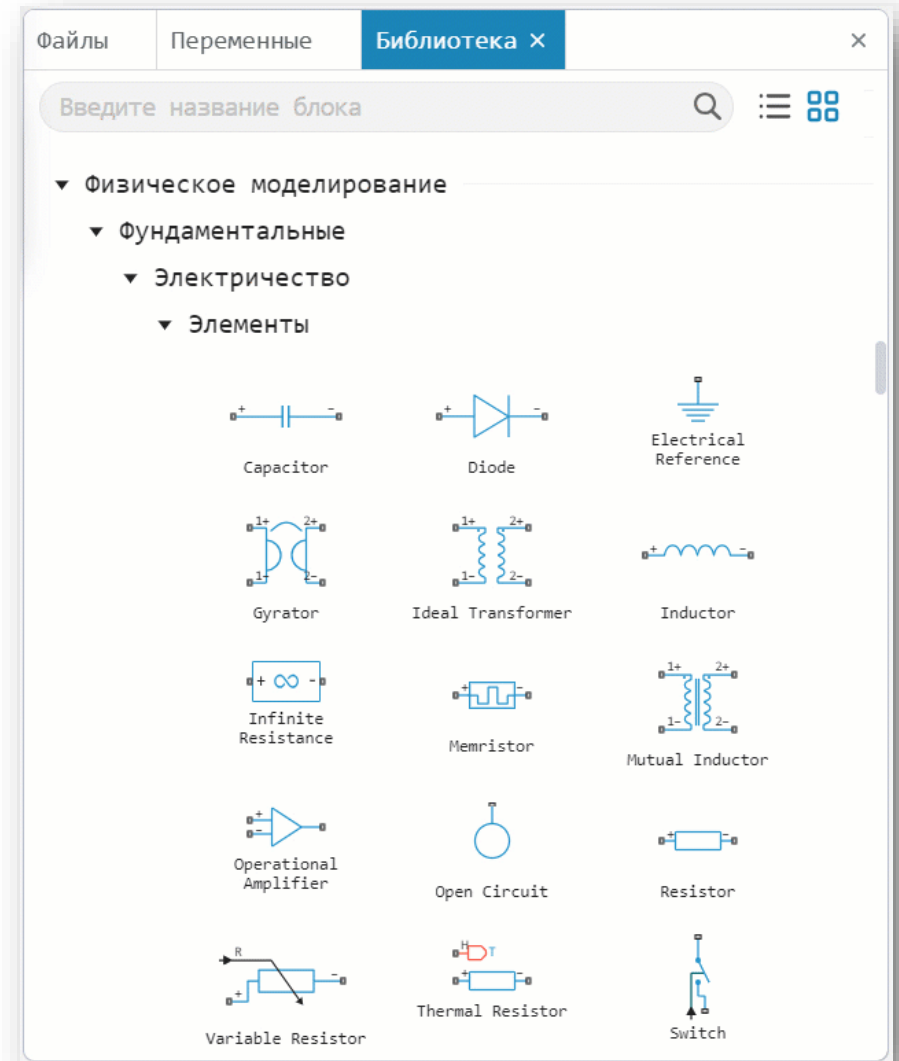
Моделирование математическими блоками



Блоки электроэнергетических элементов

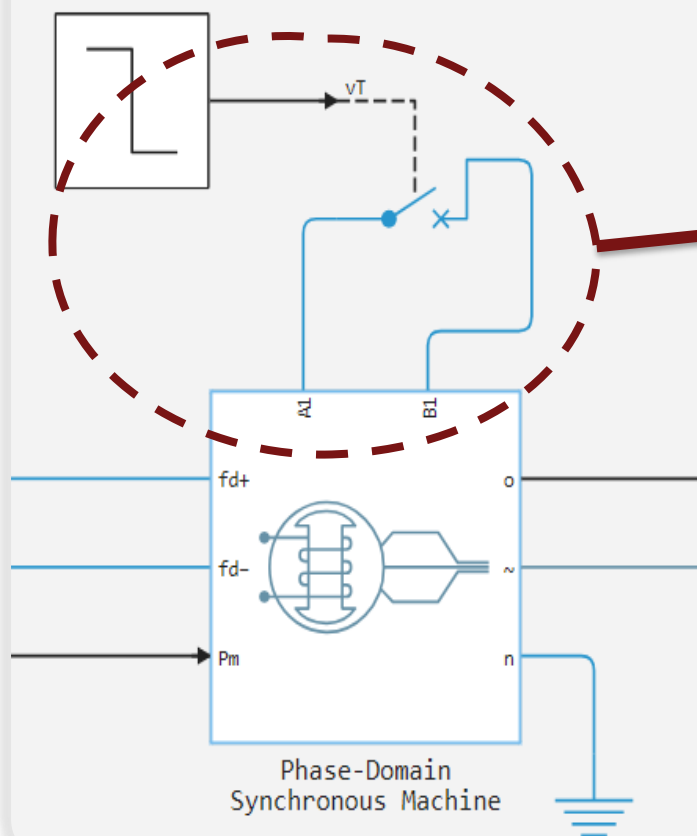
Что можно моделировать:

- ✓ Электроэнергетические сети и электромагнитные п/п
- ✓ Различные электрические машины и электромеханические п/п
- ✓ Модели генерации, потребления, передачи и трансформации электроэнергии
- ✓ Элементы электроники
- ✓ Системы управления и логики

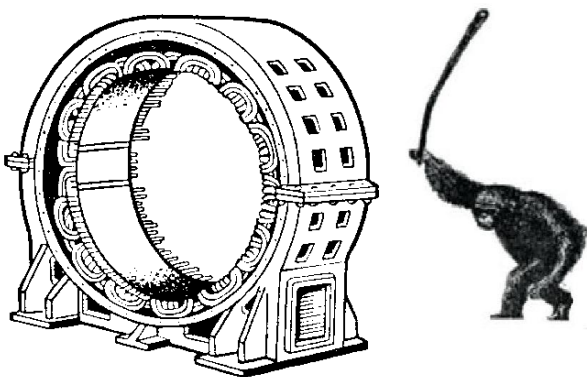


Особенности

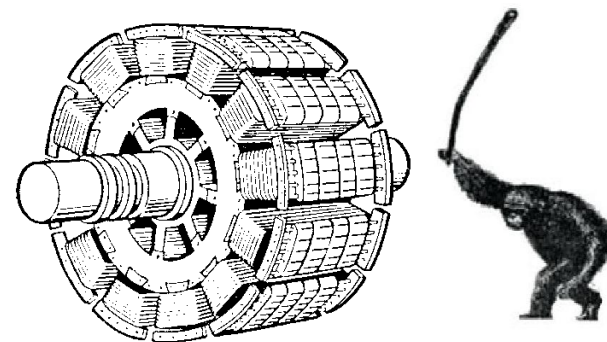
Синхронная машина для
моделирования внутренних
повреждений



Схематично: повреждение в
обмотках статора



Схематично: повреждение в
обмотках ротора



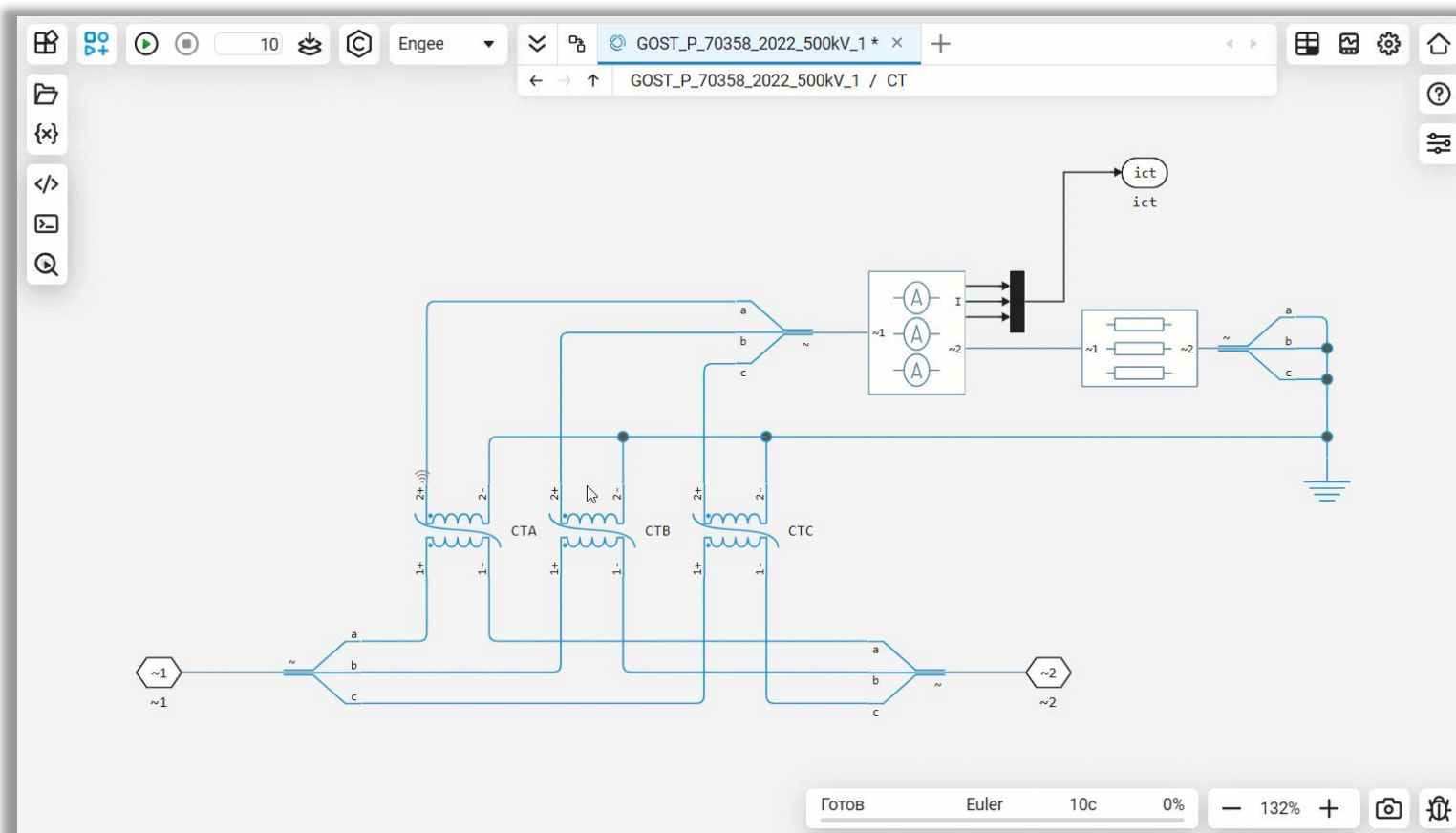
- ✓ **Уникальный** блок без аналогов в России и **MATLAB**
- ✓ Моделирует сложные эффекты **для разработчиков устройств и оборудования**



Пример 1: Модель Engее

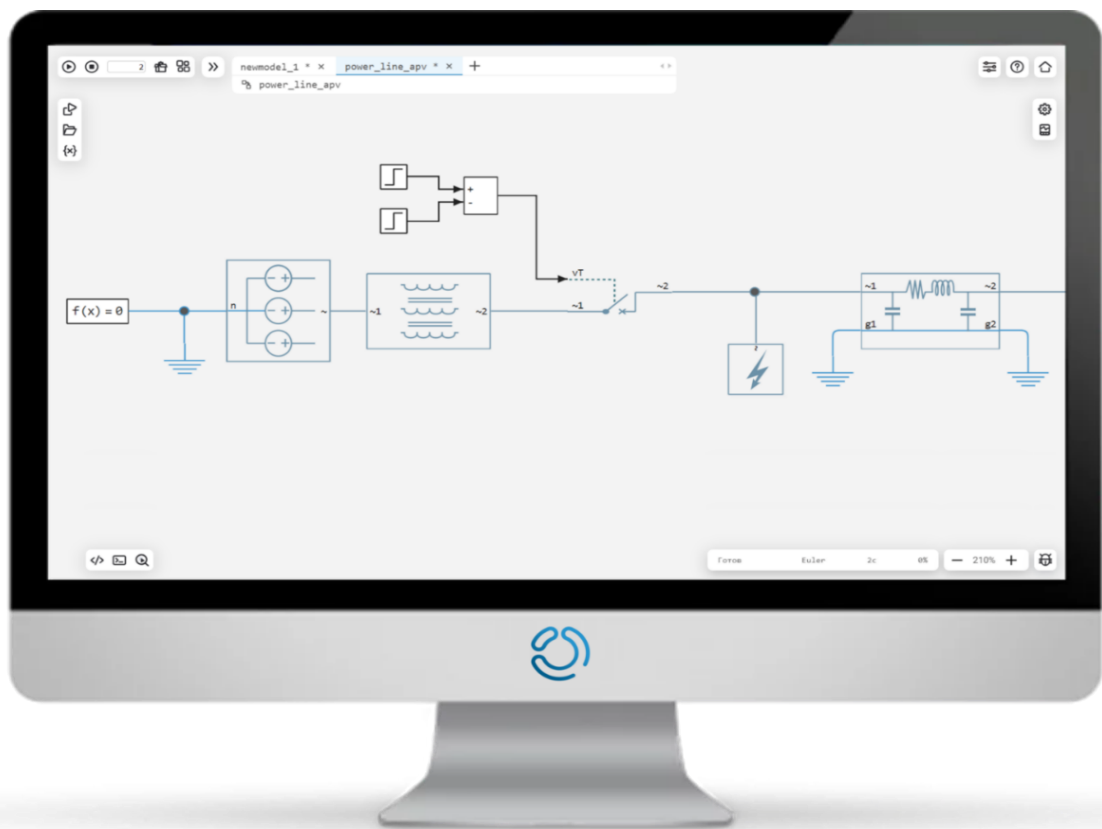


Сделаем модель ТТ по ГОСТ Р 70358 - 2022



Моделирование в реальном времени на КПМ РИТМ

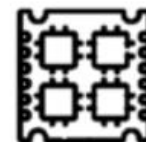
Российский программно-аппаратный комплекс моделирования в реальном времени (ПАК РВ)



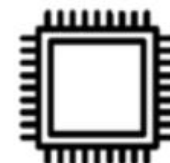
ОС реального времени
для обеспечения
жесткого РВ



Интерфейсы связи
"Медь", МЭК61850, С37.118,
Aurora и т.д.



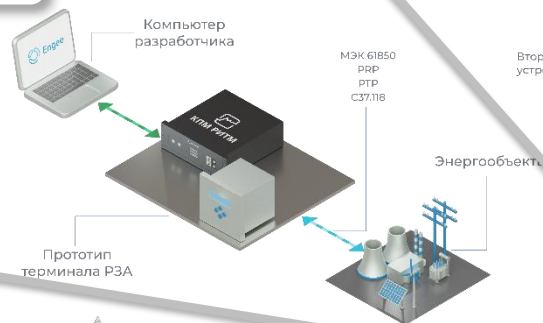
Многоядерный ЦПУ
для моделей ЭЭС и
алгоритмов (от 50 мкс)



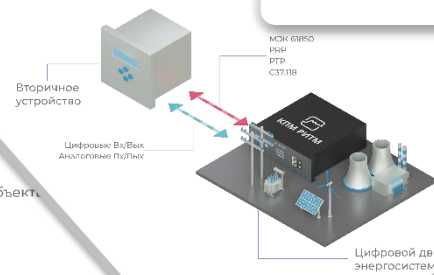
ПЛИС
для модели силовой
электроники (от 20 нс)

Сценарии использования КПМ РИТМ

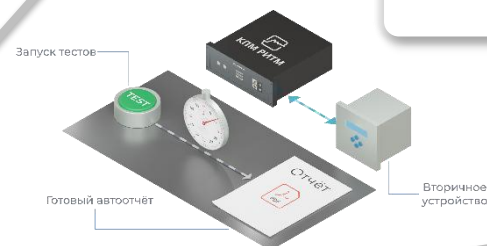
Прототипирование



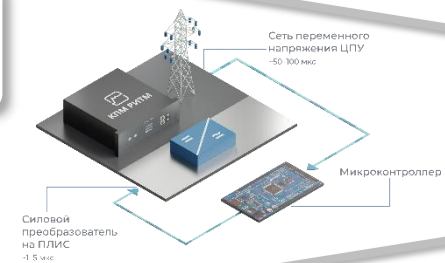
HIL



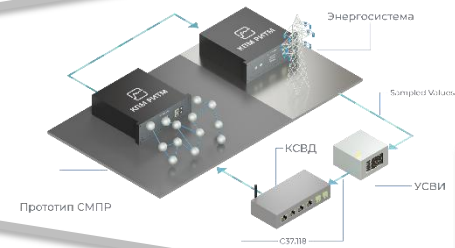
Автоматизация



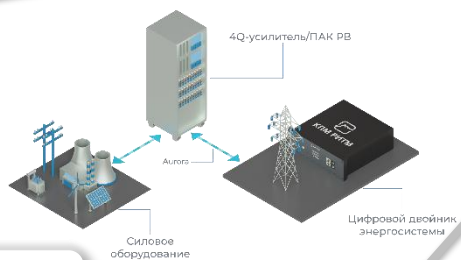
Электроника



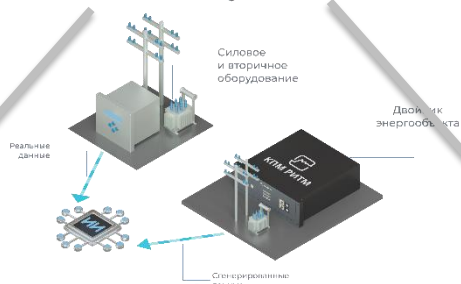
СМПП



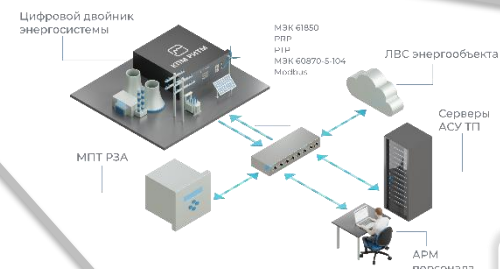
PHIL



Генерация данных



АСУ ТП

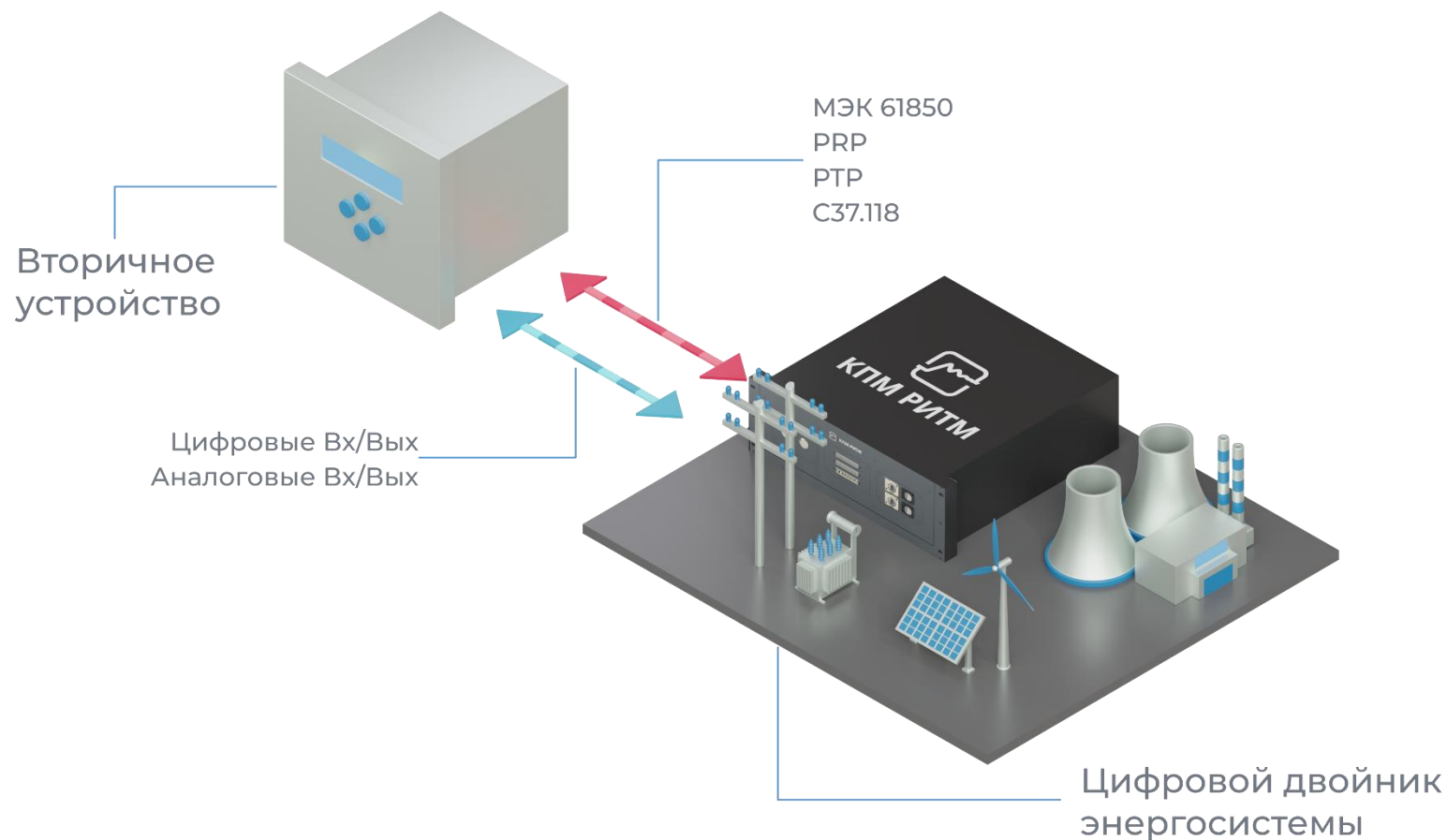


Сценарии использования КПМ РИТМ

Стенды тестирования вторичных устройств

Полунатурные испытания вторичного устройства, например, терминала РЗА или САУ, на цифровой модели энергосистемы в режиме жесткого реального времени.

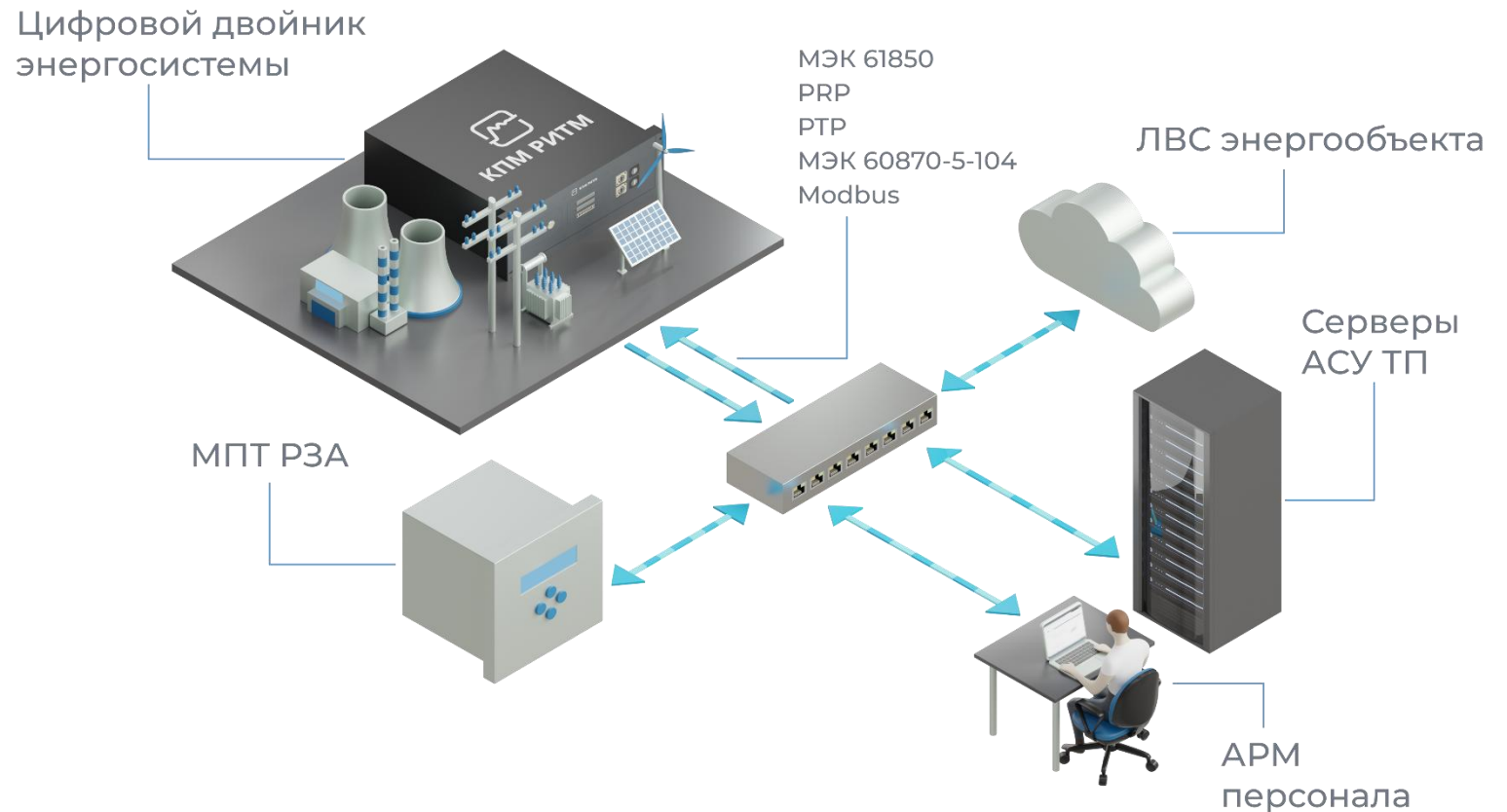
Подключая устройство по разным интерфейсам, можно проводить предварительные испытания и отладку на стадии разработки, а также подготовку и проведение сертификации.



Сценарии использования КПМ РИТМ

Стенды испытания систем АСУ ТП энергообъектов

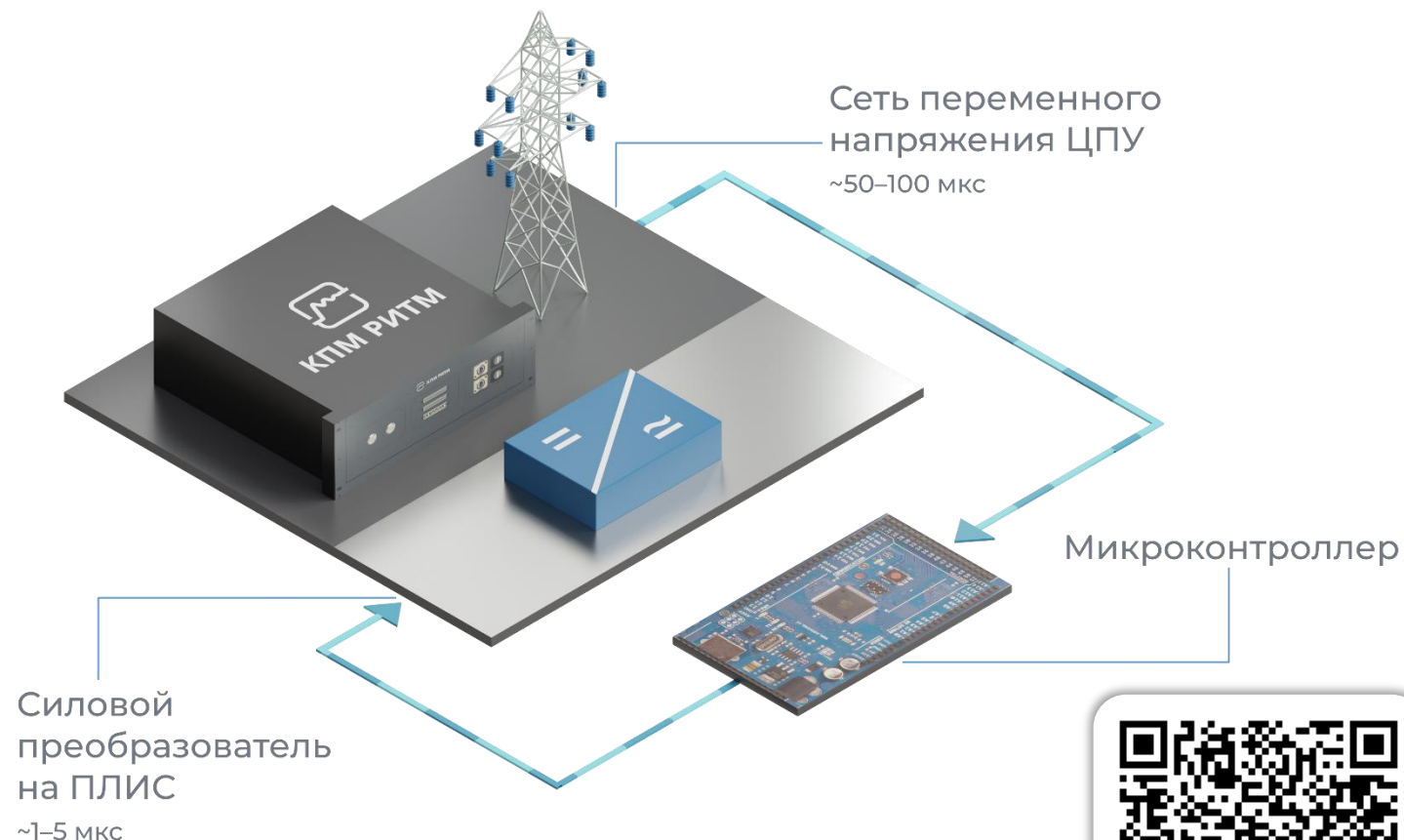
Полунатурные испытания вторичных устройств, объединенных автоматизированной системой управления технологическим процессом энергетического объекта. Такой стенд позволяет проводить тестирование работы технологического процесса максимально приближенного к реальности с учетом всех аспектов энергосистемы.



Сценарии использования КПМ РИТМ

Стенды тестирования силовой электроники, ВИЭ и СНЭЭ

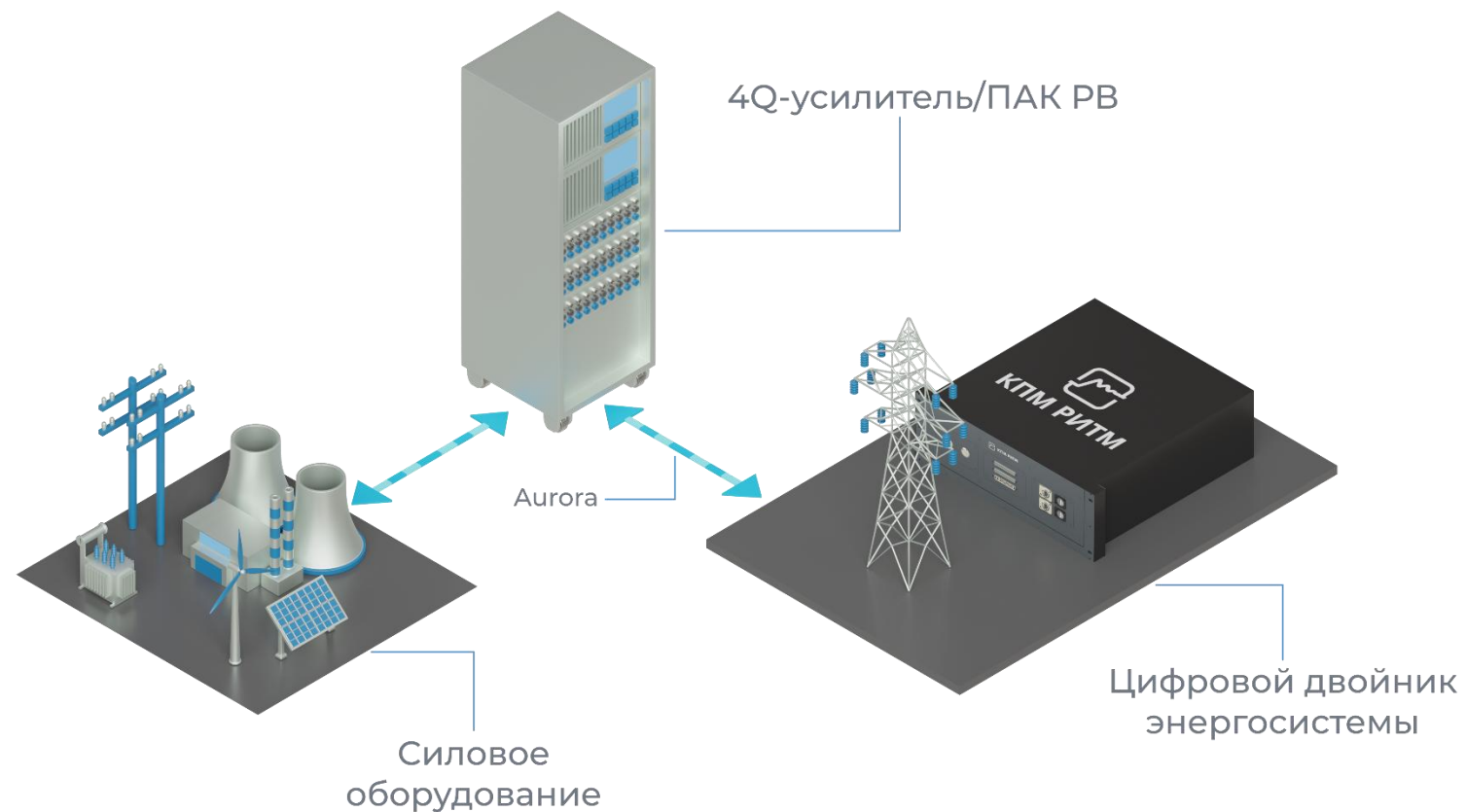
Использование КПМ РИТМ для тестирования микроконтроллеров инверторов для возобновляемой энергетики и систем накопления энергии— это эффективный способ верифицировать управляющее ПО и аппаратные компоненты. Если в ходе тестов обнаружены проблемы или несоответствия, можно внести необходимые изменения и провести повторное тестирование.



Сценарии использования КПМ РИТМ

Киберфизические полигоны для тестирования силового оборудования

Объединение реального силового оборудования в одну систему с цифровой моделью сети с помощью специализированных 4Q усилителей для создания киберфизического испытательного полигона и тестирования по технологии Power Hardware In the Loop.

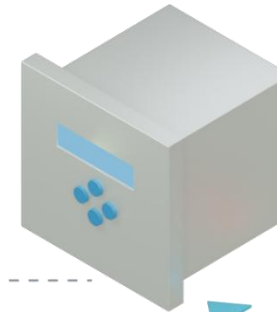


Пример 2: Модель Engее в стенд КПМ РИТМ

Работа терминала ДЗ в цикле неуспешного АПВ, с учетом остаточное намагничивание 0,86 после первичного отключения КЗ на границе зоны 1 степени.



Вторичное устройство



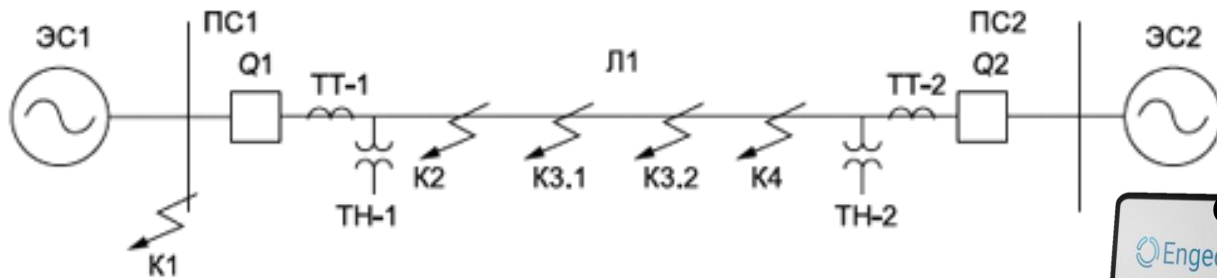
Аналоговые сигналы
100 В
1/5 А

Усилитель тока и напряжения

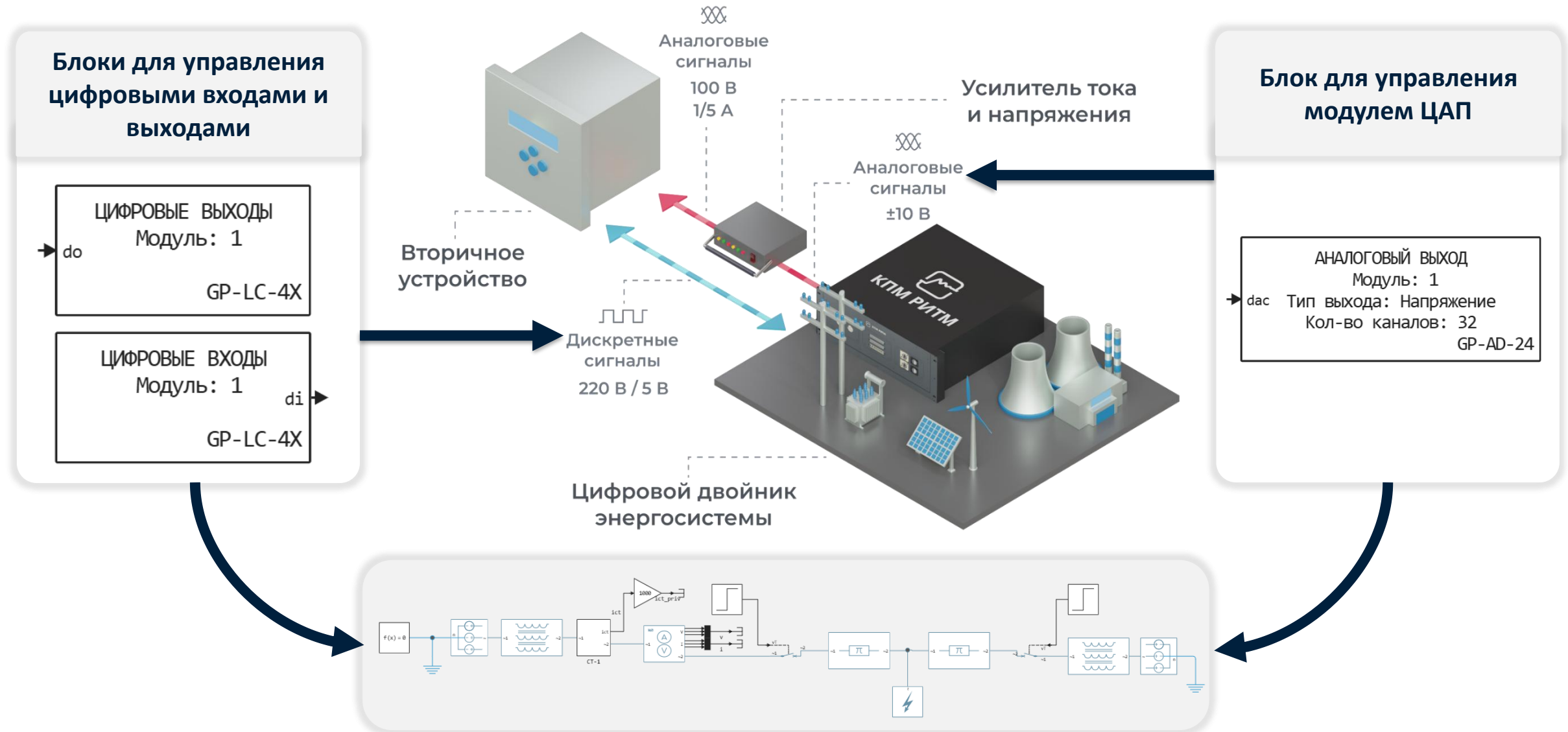
Аналоговые сигналы
 ± 10 В

Дискретные сигналы
220 В / 5 В

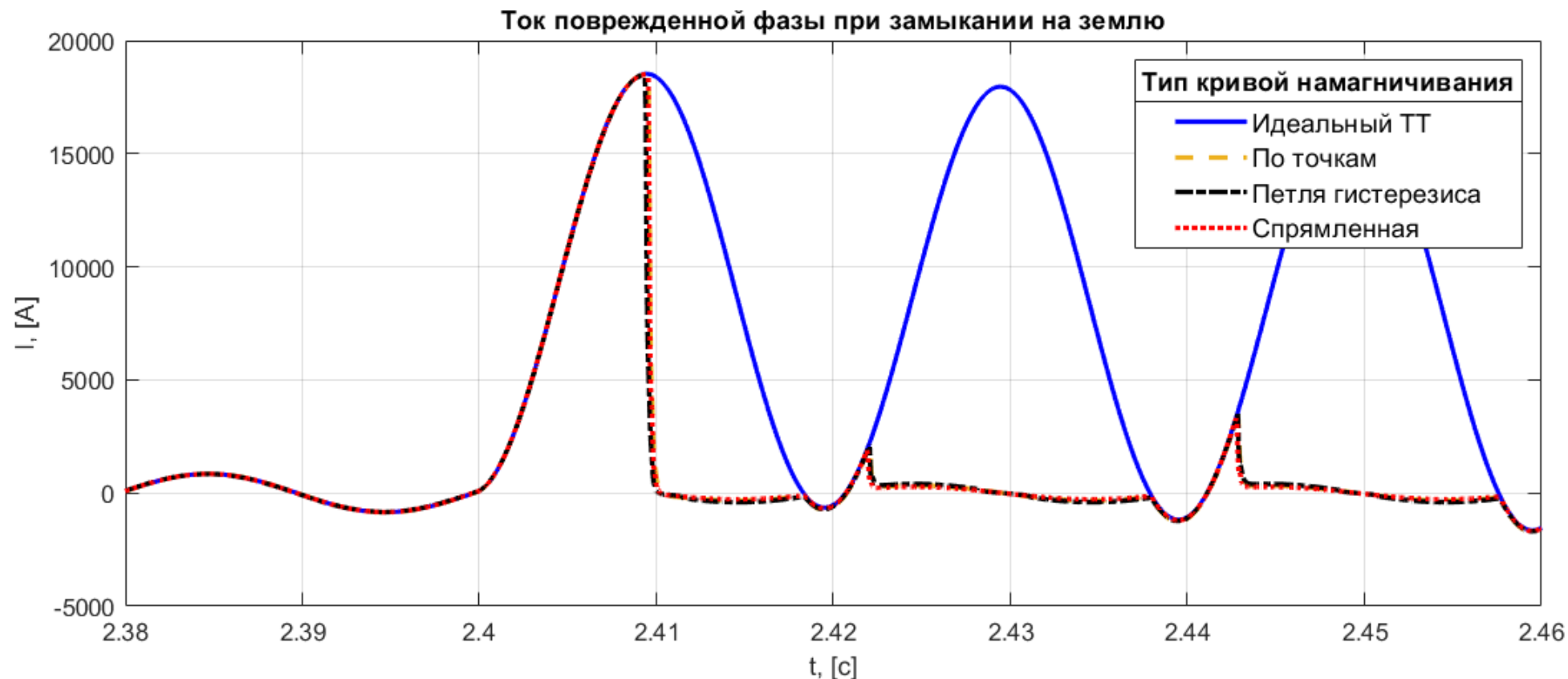
Цифровой двойник энергосистемы



Пример 2: Модель Engее в стенд КПМ РИТМ



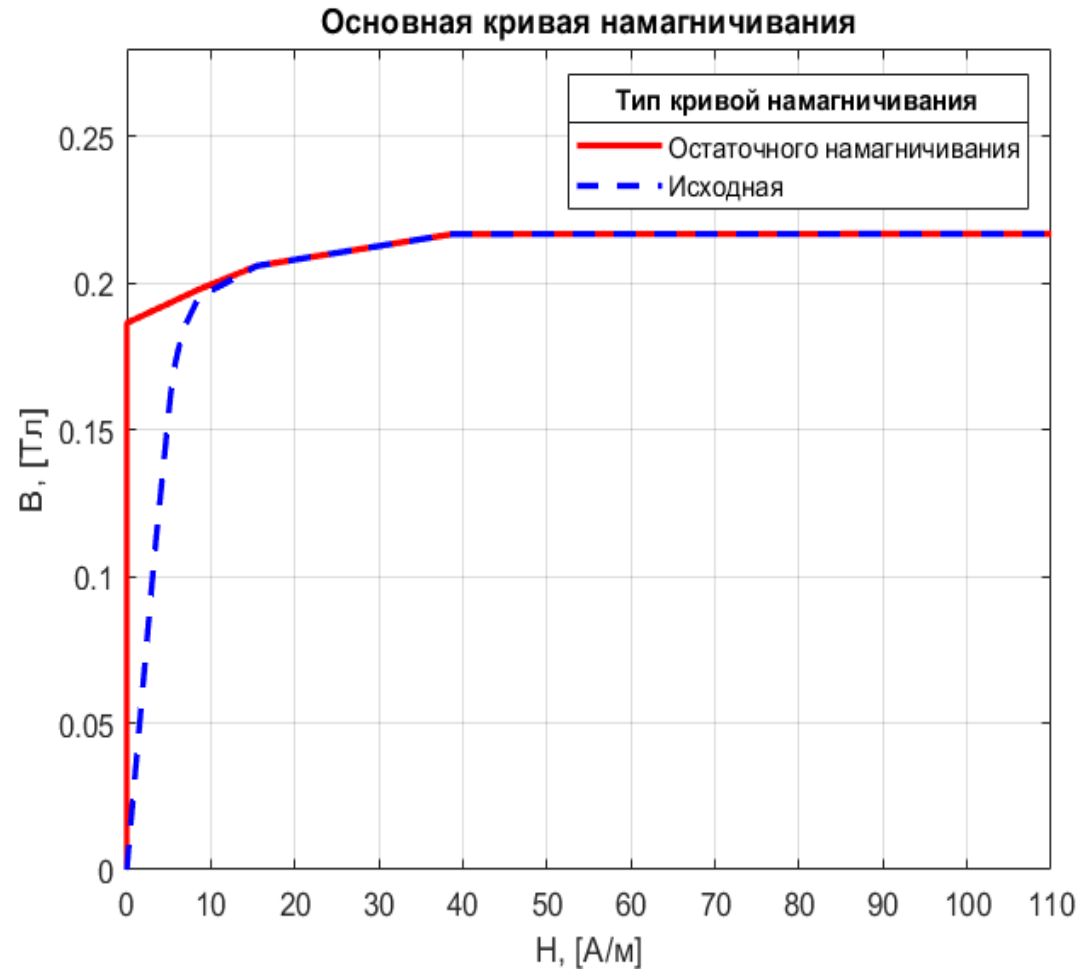
Основная кривая VS петля гистерезиса



Было проведено моделирование по ГОСТ Р 70358-2022 при различных типах характеристики и видах повреждений.

Результаты показали незначительные отклонения по величине и форме кривой тока насыщенного ТТ.

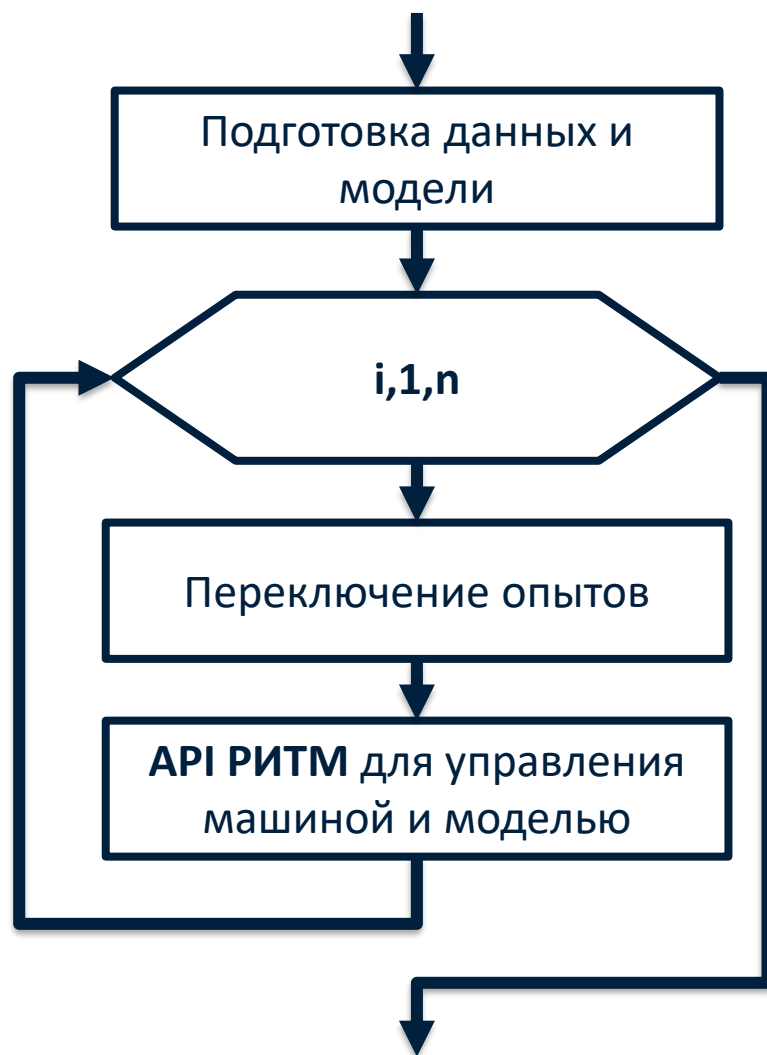
Остаточное намагничивание



Учет остаточного намагничивания
частичным спрямлением
характеристики

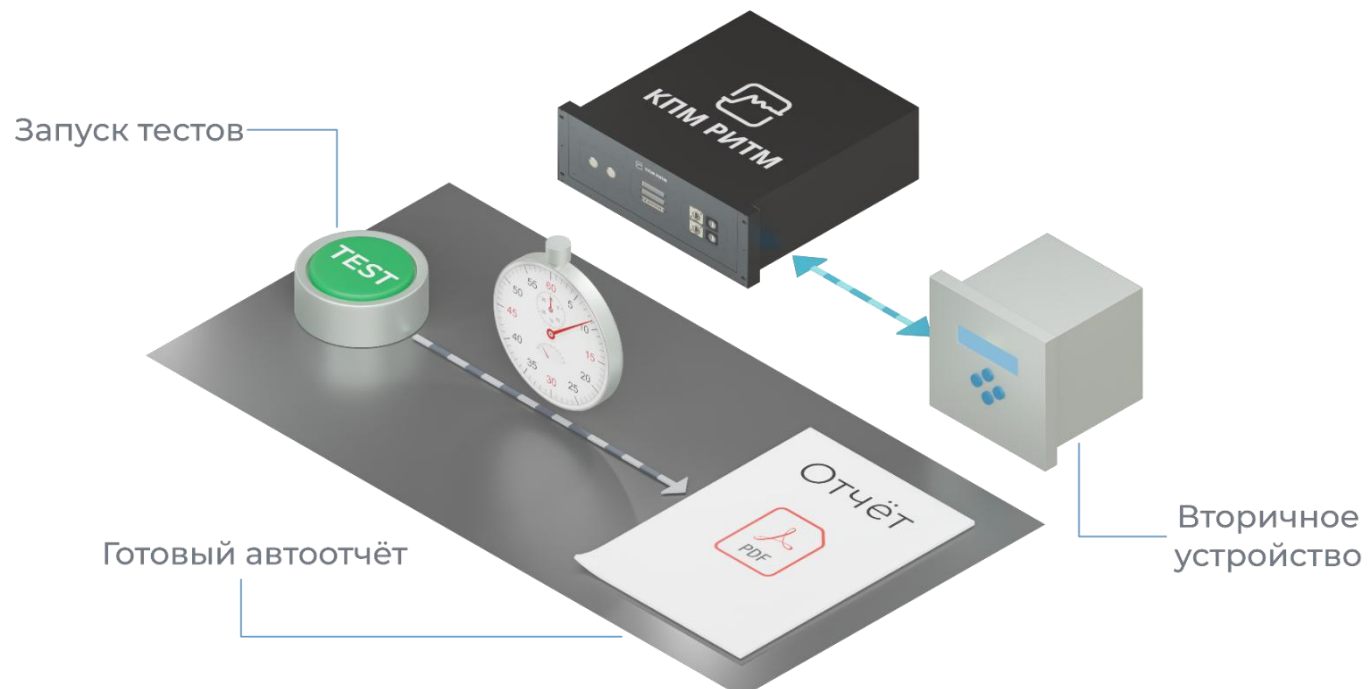
- Простота задания характеристики;
- Гибкое изменение вида характеристики;
- Точность не уступает моделированию с петлей гистерезиса.

Автоматизация



Автоматизация тестирования

Специальные скрипты или программы с API РИТМ будут управлять работой КПМ РИТМ, загрузкой модели, запуском тестовых сценариев различных режимов работы энергосистемы и сбором данных. Система выдаст отчет о результатах тестирования — графику, таблицы и аналитические выводы.



Автоматизация

Файлы {x} Переменные

/ user / WebinarHIL /

Имя ↑	Git	Размер
autoTest		—
autoTest_RITM.ngscript		12 КБ
CTwebinar.ngscript		423 КБ
data.csv		4 МБ
GOST_P_70358_2022_500kV_RITM.engee		59 КБ
GOST_P_70358_2022_500kV.engee		304 КБ
InternalFaultGen_Pm_Port.engee		640 КБ
InternalFaultGen.engee		667 КБ
remFluxBuilder.jl		2 КБ
VAc correction.jl		289 байт

Просмотр Git

Выберите файл для просмотра информации

Готов Euler 0с 0% — 50% +

Моделирование в реальном времени на КПМ РИТМ

Российский программно-аппаратный комплекс моделирования в жестком реальном времени (ПАК РВ).

КПМ РИТМ

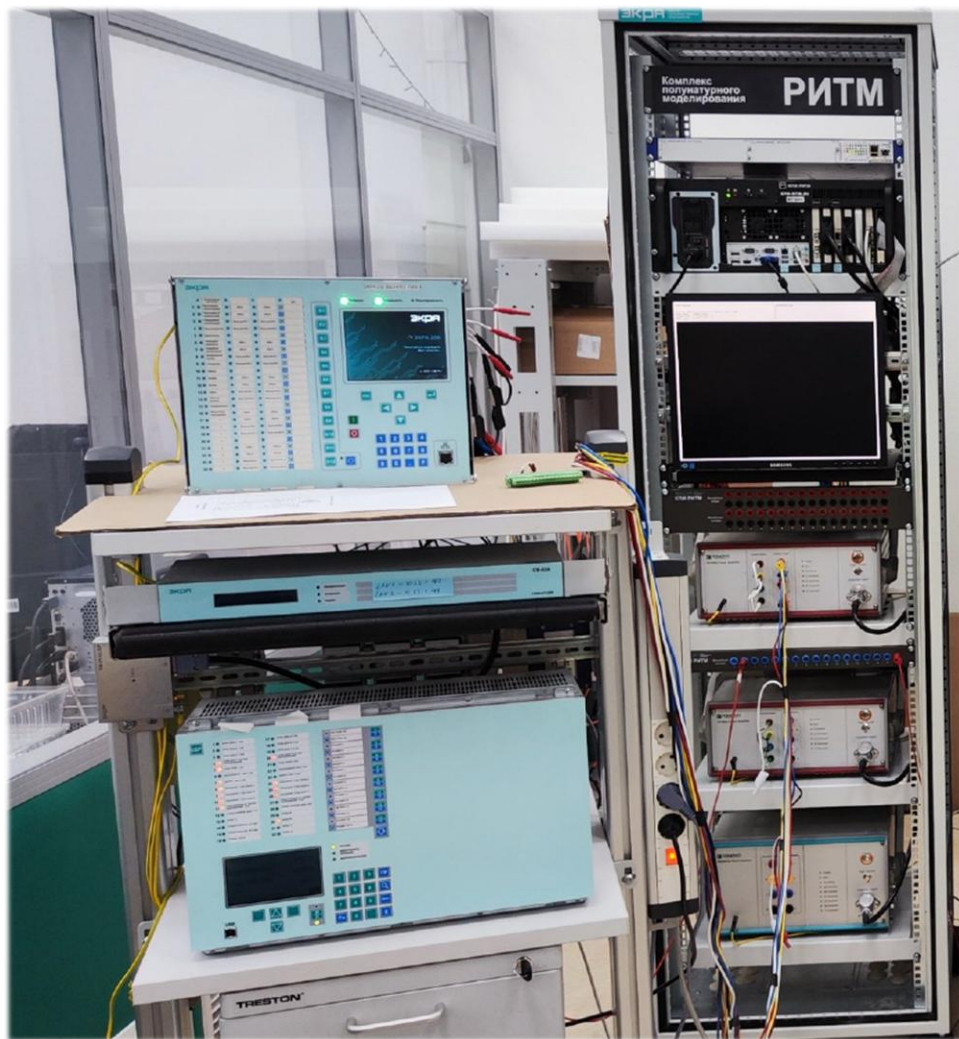
Первый российский ПАК РВ с 2017 г.

Более **20 предприятий** В России используют КПМ РИТМ.

Активное применение в электроэнергетике:

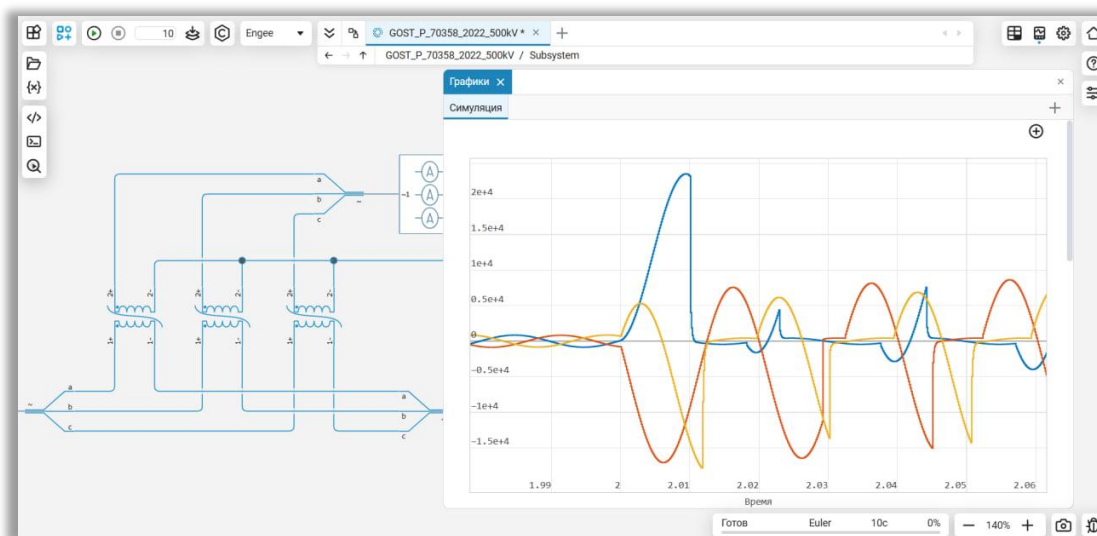
- ✓ **Разработка:** НПП «ЭКРА», НПО «Фарватер», ГК «Текон»
- ✓ **Обучение:** НГТУ (г. Новосибирск), ЮГУ (г. Ханты-Мансийск), ДальГАУ (г. Благовещенск), ЧГУ (г. Чебоксары), ДВГУПС (г. Хабаровск), НГТУ им Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород)
- ✓ **Исследования:** Коми НЦ УрО РАН





Расширение оснащения Центра моделирования машинами КПМ РИТМ

Область применения КПМ РИТМ — научные исследования и испытания алгоритмов функционирования устройств РЗА и ПА, например моделирование условий насыщения ТТ.





Пример использования

Лаборатория автономных гибридных энергоустановок

Стенд для HIL и PHIL испытаний. Позволяет проводить исследование и тестирование вторичного и силового оборудования на имитационных моделях сети.



tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



@EXPONENTA_ENERGY

Спасибо за внимание!
Задавайте Ваши вопросы