



ЭКСПОНЕНТА



КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИТМ

Российский комплекс для моделирования электроэнергетических систем в режиме реального времени



ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ HIL-ТЕСТИРОВАНИЯ



КПМ РИТМ

- ▶ Моделирование ЭЭС и силовой электроники для исследования переходных процессов
 - ▶ Разработка алгоритмов для терминалов РЗА, первичного оборудования, СНЭ и ВИЭ
 - ▶ Поддержка протоколов МЭК 61850 (в т.ч. профиль ФСК), C37.118, PTPv2, PRP, Aurora
 - ▶ Киберполигоны для оценки устойчивости оборудования ЭЭС к киберугрозам
 - ▶ Испытания реальных терминалов РЗА, УСВИ и КСВД

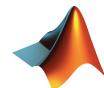
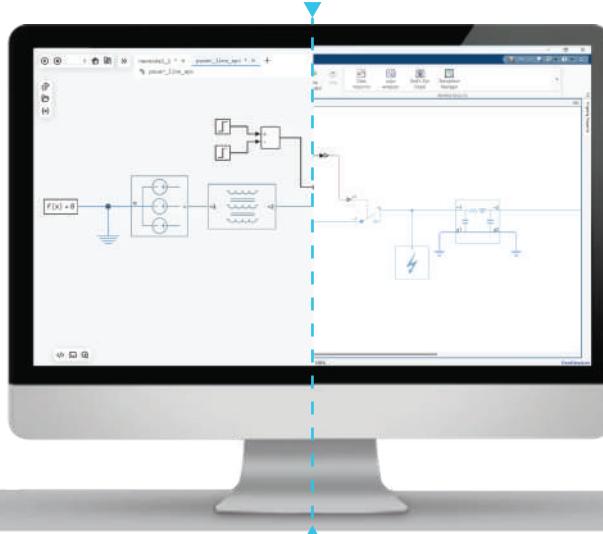


- ▶ Цифровые двойники оборудования для предиктивного обслуживания
 - ▶ Лабораторные стенды, обучение и тренинги для повышения квалификации
 - ▶ РНIL-тестирование силовых преобразователей
 - ▶ НIL-тестирование встраиваемых систем управления в режиме жесткого реального времени

БЕСШОВНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ С ВЕДУЩИМИ МОДЕЛИРУЮЩИМИ ПЛАТФОРМАМИ



Российская среда
моделирования
Engee



Среда
моделирования
MATLAB / Simulink



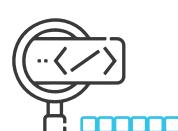
Библиотека блоков для
работы с цифровыми
и аналоговыми модулями
ввода/вывода КПМ РИТМ



Библиотека блоков:
электрические машины,
ЛЭП, нагрузка, КЗ,
измерительные ТТ и ТН,
полупроводники и др.



Библиотеки цифровых
протоколов Sapled Values,
GOOSE, C37.118, PRP, PTPv2,
UDP, TCP/IP, Modbus,
Aurora



Высокоуровневый язык для
скриптов, обработки данных
и визуализации

Ключевые преимущества

 Уникальный скриптовый язык и редактор

 Физическое 1D моделирование с помощью библиотек блоков

 Обеспечивает быстрый старт и миграцию

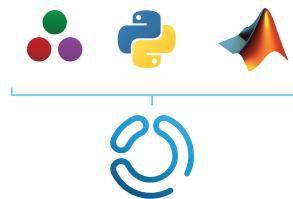
 Современная клиент-серверная архитектура

 Эргономичный интерфейс и инженерные приложения

 Генерация С кода и полунатурное тестирование

МУЛЬТИЯЗЫЧНОСТЬ: ML, PY, JL, DLL

Engee позволяет запускать скрипты, написанные на различных языках.



Сейчас мы работаем в Engee (jl)

```
1 A = [1, 2, 3];
```

Переключимся на MATLAB

```
2 using MATLAB
3 mat"A = [1, 2, 3]"
```

А теперь перейдем на Python

```
4 using PyCall
5 py"""
6 import numpy as np
7 """
8 py"""
9 A = np.array([1, 2, 3])
10 """
```



Среда математических вычислений



Среда динамического моделирования



Генерация кода, полунатурное тестирование

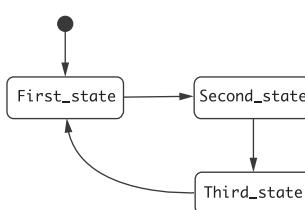
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Моделирование алгоритмов управления и логики

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

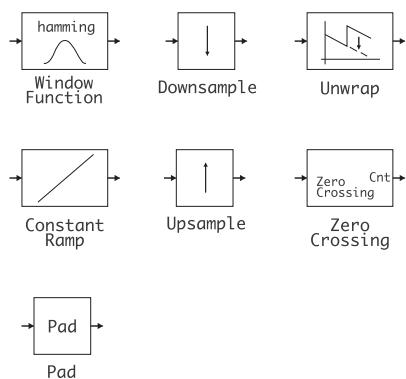
Конечные автоматы

Отработка отказов, управляющая логика



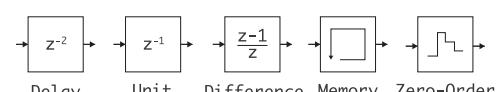
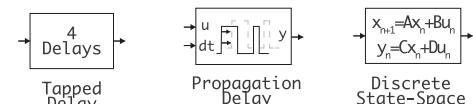
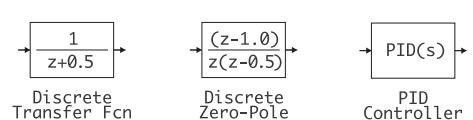
Многоскоростные системы

Подсистемы с разным временем

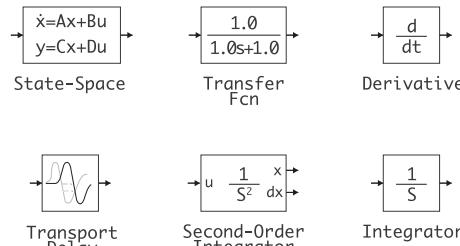


Гибридные системы

▼ Дискретные

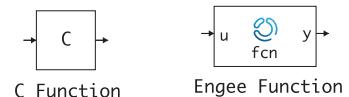


▼ Непрерывные



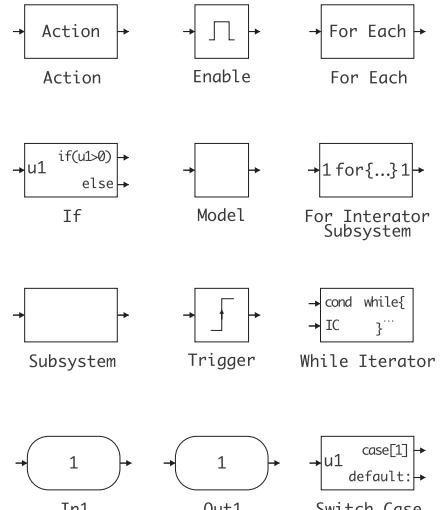
Пользовательские блоки

Интеграция кода С и пользовательского кода



Архитектура моделей

Подсистемы, циклы, условные конструкции



Полное описание,
документация и обучение:

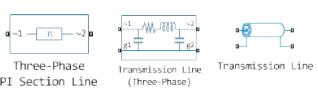


start.engee.com

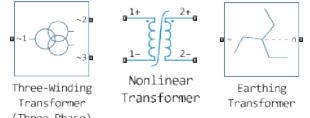
Готовая библиотека блоков энергетических элементов



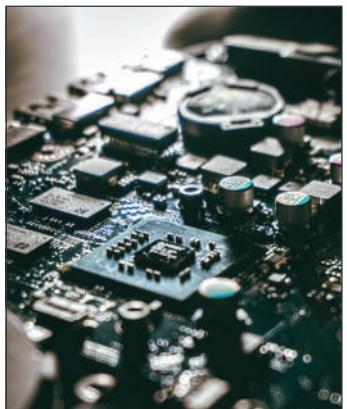
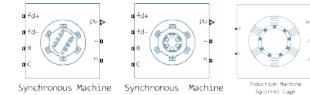
Линии электропередачи



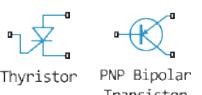
Электрические машины



Трансформаторы



Полупроводники



Исследование
электромагнитных и
электромеханических
переходных процессов

Моделирование
силовой
электроники

Разработка
цифровых
протоколов связи

Области применения

Разработка систем
управления
электрическими
машинами

Проверка работы
новых стратегий
управления ЭЭС

Создание
цифровых
двойников
электро-
оборудования

Исследование
работы ЭЭС
при работе РЗА

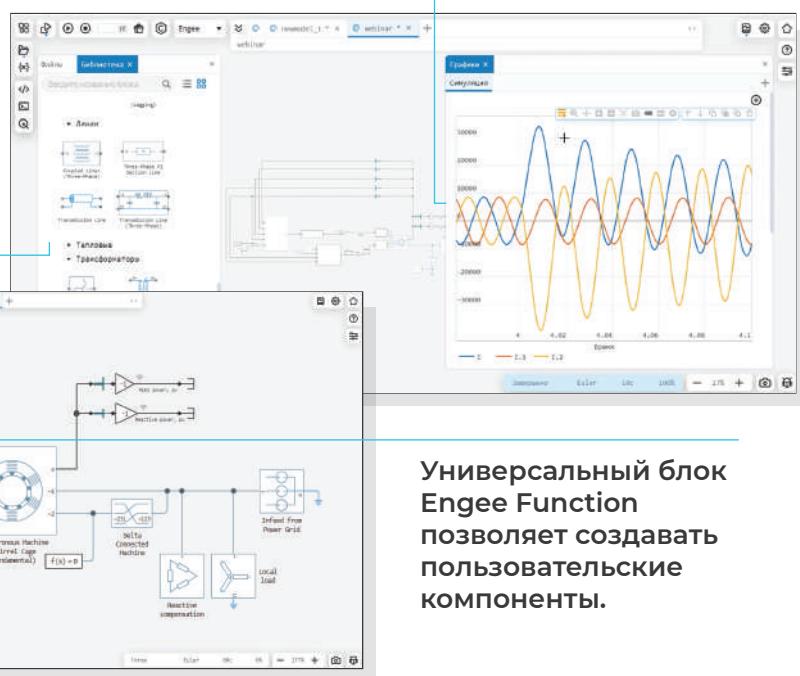
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Мультидоменное моделирование физических систем

Верифицированные библиотечные компоненты для моделирования энергосистем с традиционными и возобновляемыми источниками энергии:

- ▶ источники тока и напряжения
- ▶ линии электропередачи
- ▶ нагрузки
- ▶ коммутационные аппараты
- ▶ трансформаторы
- ▶ электрические машины
- ▶ полупроводниковые элементы

Отображение осциллограмм в реальном времени



Универсальный блок Engee Function позволяет создавать пользовательские компоненты.

Модель может состоять из блоков, находящихся в разных физических областях: электрические, магнитные, механические, термо и гидродинамические компоненты.

Программирование

Создавайте скрипты и функции для программного управления моделью и автоматизации опытов.

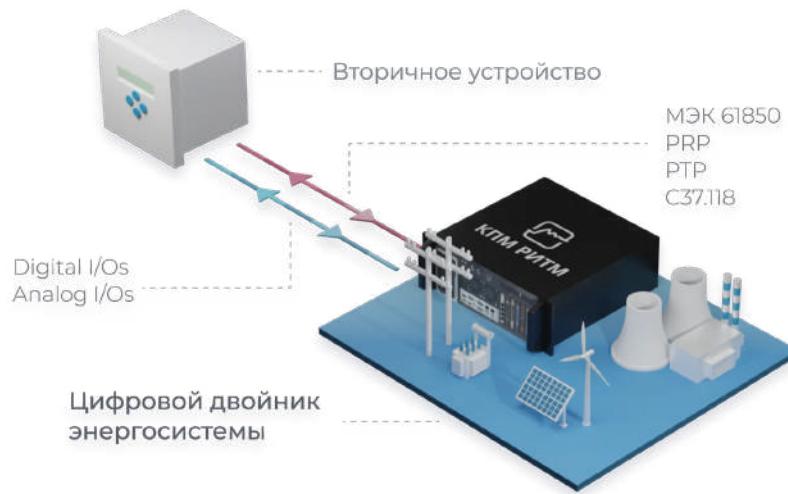
Импортируйте ваши данные в виде сигналов внутрь модели или экспортируйте их из модели, проводите сравнение, обработку и анализ с помощью скриптов.

```
22 model = "GenModel";
23 result = Array{Any}(undef,3,1)
24 L_kz1 = Float64(1);
25 L_kz2 = Float64(39);
26 for i = 1:3
27     result[i] = engee.run(model; verbose=false)
28     L_kz1 = L_kz1 + 10;
29     L_kz2 = 40 - L_kz1;
30 end
```

СЦЕНАРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КПМ РИТМ

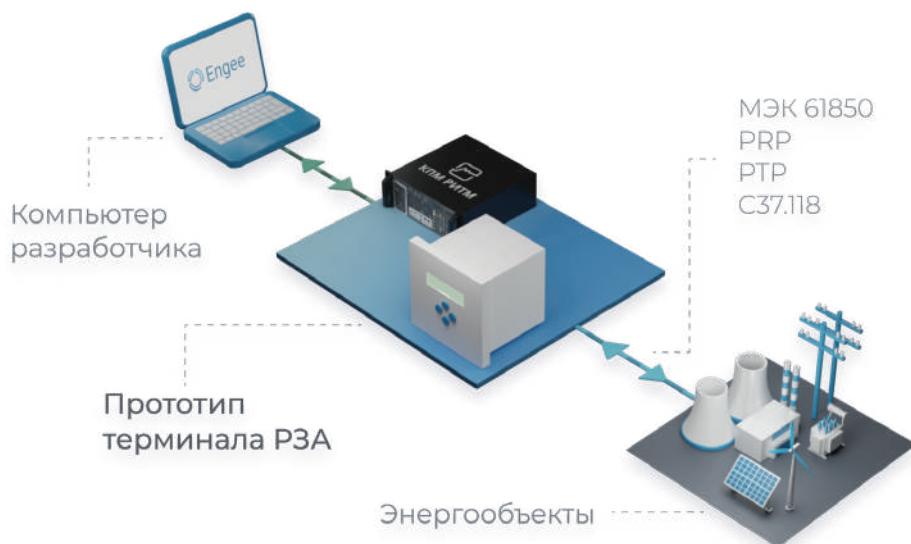
» Тестирование вторичных устройств

Предварительное испытание и отладка прототипа разрабатываемого устройства, подготовка устройства к сертификации. Проведение полунатурных испытаний готового вторичного устройства, например, терминала РЗА, на цифровой модели энергосистемы в режиме жесткого реального времени. В рамках сценария можно подключить терминал по различным интерфейсам.



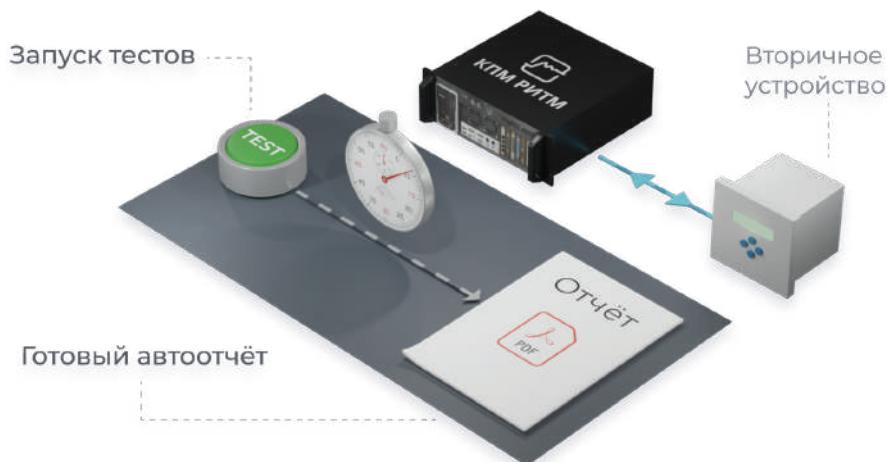
» Быстрое прототипирование

Реализация алгоритма с определенной частотой расчета для быстрого прототипирования. КПМ РИТМ с алгоритмом работы терминала РЗА подключается к испытываемой системе вместо реального терминала, который на данный момент еще не произведен. Таким образом можно убедиться, что выбранный алгоритм работает корректно.



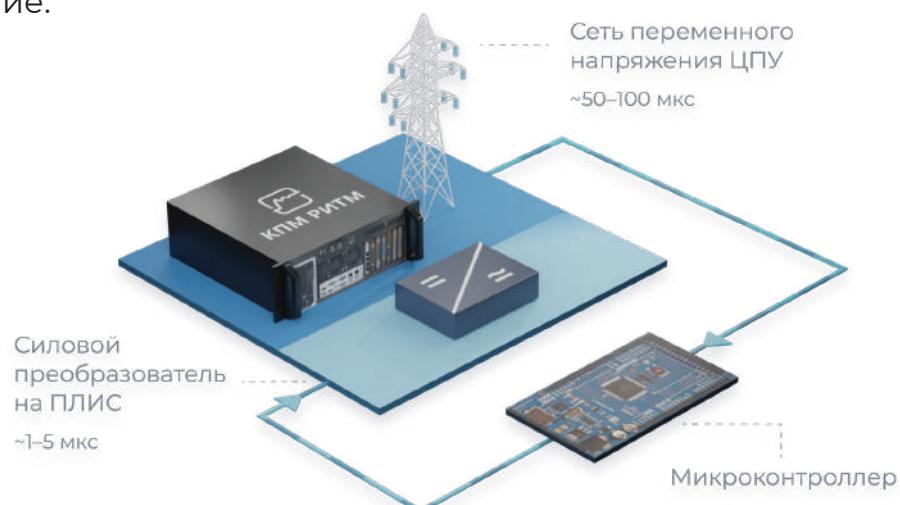
» Автоматизация тестирования

Моделирование, обучение и тестирование автоматизированных систем, оптимизация их работы. Специальные скрипты или программы с выбранным программным обеспечением для автоматизации 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.



» Тестирование силовой электроники

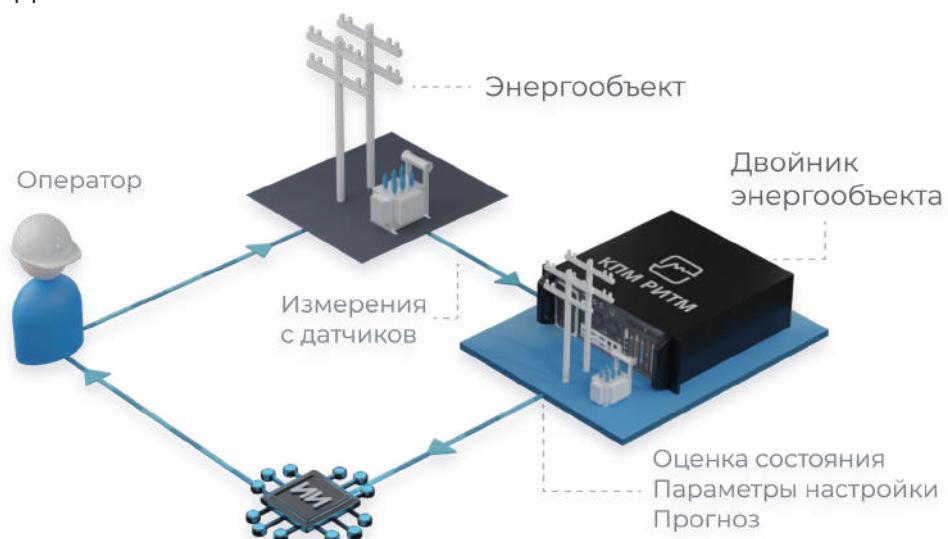
Использование КПМ РИТМ для тестирования микроконтроллеров инверторов — это эффективный способ верифицировать управляющее ПО и аппаратные компоненты. Если в ходе тестов обнаружены проблемы или несоответствия, можно внести необходимые изменения в управляющее ПО микроконтроллера или элементную базу и провести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



СЦЕНАРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КПМ РИТМ

» Генерация данных для ИИ

В условиях отсутствия или недостатка реальных измерений КПМ РИТМ — удобный инструмент для генерации данных различных режимов для обучения моделей предиктивного обслуживания. Модели предиктивного обслуживания позволяют предсказывать возможные неисправности или сложные дефекты с помощью машинного обучения, временных рядов или других методов.



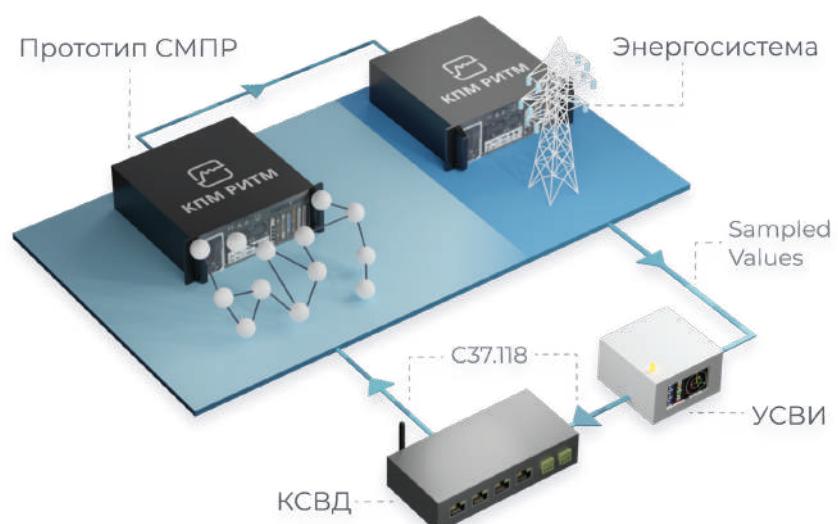
» Модернизация киберполигонов

Функциональная замена зарубежных ПАК РВ в области моделирования в реальном времени в современных реалиях. Также КПМ РИТМ может быть интегрирован с уже установленным зарубежными ПАК РВ и предоставит дополнительные инструменты и функциональность за счет более современного моделирующего ПО для более глубокого и детального анализа работы электроэнергетических систем.



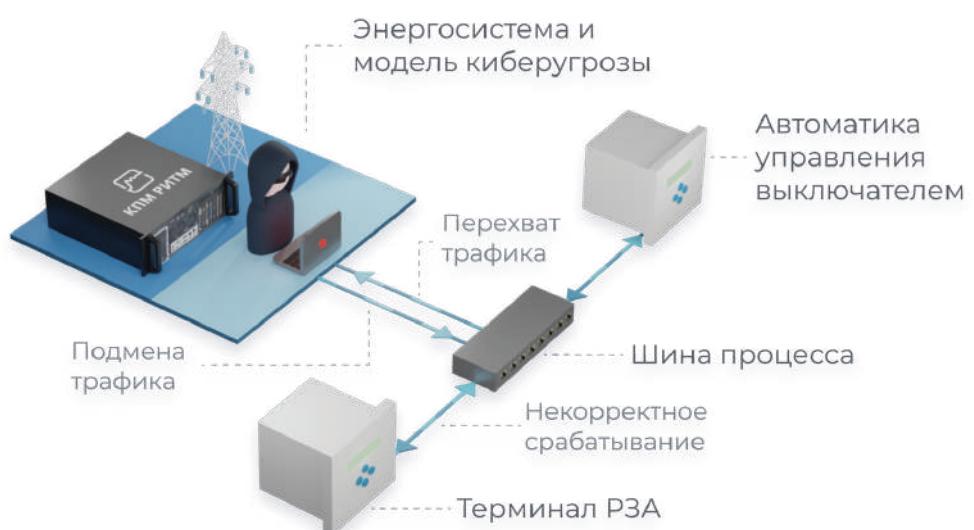
» Моделирование СМПР

Принятие обоснованных решений и снижение рисков возникновения аварийных ситуаций в рамках системы мониторинга переходных режимов (СМПР). КПМ РИТМ благодаря поддержке протокола C37.118 и возможности работы с внешними устройствами (УСВИ, КСВД) является удобным инструментом для исследования и разработки новых алгоритмов управления режимами электрических сетей в рамках СМПР.



» Моделирование киберугроз

КПМ РИТМ предоставляет возможности для тестирования вторичных устройств по цифровым протоколам связи с моделированием киберугроз, пропаж пакетов, подмены трафика и т. п. Существует библиотека блоков для удобного и простого моделирования информационных потоков в сети по МЭК61 850, C37.118, PTP, PRP.



ТЕХНОЛОГИИ



В основе КПМ РИТМ находится ядро реального времени, позволяющее запускать детерминированные симуляции с фиксированным шагом расчета.

ОС «РИТМ.Реальное время» — специальная операционная система для запуска приложений пользователя в реальном времени с подключением к внешнему оборудованию через интерфейсные модули ввода-вывода. Входит в российский реестр ПО.



Дополнительно применяемые технологии:



Многоядерный ЦПУ — высокопроизводительный многоядерный процессор для моделирования энергосистем и алгоритмов (от 50 микросекунд). Количество задействованных при симуляции ядер зависит от количества электрических узлов и детализированности математической модели.

Интерфейсы связи — для проведения HIL-тестирования внешнего оборудования используются специализированные платы ввод-вывода: ЦАП-АЦП, релейные модули, Ethernet-платы с протоколами Sampled Values, GOOSE, C37.118, PTPv2, PRP, Aurora. В один КПМ РИТМ можно установить до 18 плат.

ПЛИС — высокопроизводительные программируемые логические интегральные схемы для создания моделей промышленной силовой электроники с шагом расчета 20-4000 наносекунд с возможностью генерировать и захватывать ШИМ.

Кластеризация — возможность объединения двух и более КПМ РИТМ в единый вычислительный кластер через мультигигабитный Ethernet для моделирования многоузловых энергосистем.



Технические характеристики вычислительных модулей и плат ввод-вывода

▶ Процессор

До 8 ядер с частотой 3.6 ГГц

▶ ЦАП и АЦП

Гибко настраиваемые аналоговые входы и выходы

Характеристики АЦП:

- ▶ Количество каналов: до 32
- ▶ Диапазон напряжений: до ± 12.5 В
- ▶ Разрядность: 16 бит
- ▶ Одновременное считывание значений по всем каналам

Характеристики ЦАП:

- ▶ Количество каналов: до 32
- ▶ Диапазон напряжений: до ± 10 В
- ▶ Разрядность: 16 бит
- ▶ Одновременная установка значений по всем каналам
- ▶ Скорость установки выходного напряжения 1 В/мкс

▶ Цифровые входы и выходы, дискретные сигналы

Характеристики цифровых входов:

- ▶ Количество каналов: 32 канала
- ▶ Диапазон напряжений: 0-5 В

Характеристики цифровых выходов:

- ▶ Количество каналов: 32 канала
- ▶ Диапазон напряжений: 0-200 В

▶ ПЛИС

Разработка специализированных цифровых интерфейсов на базе ПЛИС с возможностью автоматической генерации HDL-кода

На базе Xilinx Ultrascale:

- ▶ Возможность установки мезонинного модуля FMC (для работы с ЦАП/АЦП, цифровыми вх/вых)

- ▶ Модули цифровые, аналоговые, оптические (Fibre Channel)

▶ Ethernet

Поддержка Raw Ethernet, TCP/IP, UDP

Поддержка: RJ45, SFP, SFP+, SFP28

- ▶ Скорость передачи данных до 25 Гбит/с
- ▶ Общее количество портов: до 4

▶ Fibre Channel (ПЛИС)

Настраиваемый модуль аналоговых выходов на базе ПЛИС через протокол Аврора

Количество независимых каналов для работы в дуплексном режиме Fibre Channel: 4

▶ Генерация и захват ШИМ (ПЛИС)

Генерация и захват высокоскоростного ШИМ

Количество каналов: до 128

▶ Частота вывода: 5 МГц

▶ Квадратурный энкодер / декодер (ПЛИС)

Прием и эмуляция сигналов датчика угла поворота

Количество каналов: до 128

- ▶ Частота сигналов А/В/С: до 1 МГц
- ▶ Частота ввода/вывода: 5 МГц

▶ Последовательный порт

Передача и прием данных по интерфейсам RS-232/422/485

Количество интерфейсов: до 16 портов с возможностью выбора типа приемопередатчика

- ▶ Максимальная скорость: 921600 бод
- ▶ Гальваническая изоляция: 4кВ

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ

Лабораторные стенды,
формирование компетенций
в области цифровой
электроэнергетики



Протоколы связи,
разработка библиотек
компонентов для
передачи данных
по сети



Тестирование и отладка,
автоматическое
формирование отчетов и
предварительная аттестация
устройств



КПМ РИТМ

Полунатурное
моделирование
в режиме жесткого
реального времени
на КПМ РИТМ



Построение моделей,
моделирование
объектов
электроэнергетики

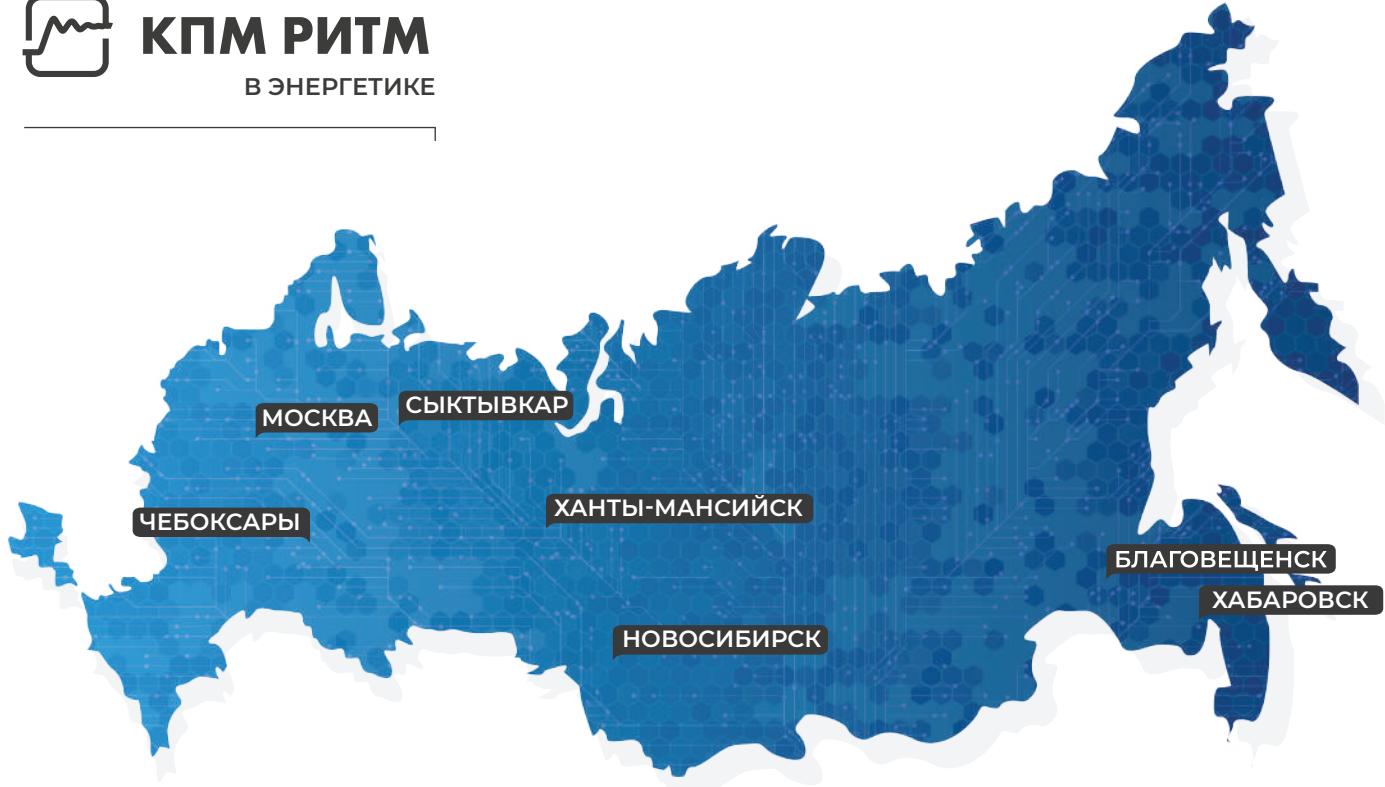


Разработка алгоритмов и
быстрое прототипирование
алгоритмов с
использованием
генерации кода



КПМ РИТМ

В ЭНЕРГЕТИКЕ



НАШИ ПРОЕКТЫ



Модернизация научно-исследовательского полигона

ДВГУПС



Модернизация центра моделирования

НПП «ЭКРА»



Научно-исследовательский полигон

ЮГУ



Оснащение учебно-научного центра цифровых технологий

ДАЛЬГАУ



Оснащение лаборатории цифровых двойников электротехнических устройств

ЧувГУ



Имитационный стенд

КОМИ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «УРО РАН»



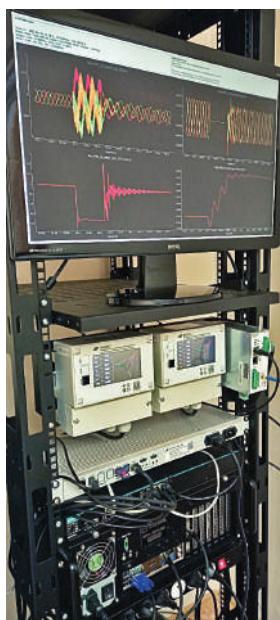
Имитационный стенд

НПО «ФАРВАТЕР»



Оснащение учебной лаборатории

НГТУ НЭТИ



НАШИ КОНТАКТЫ



energy.exponenta.ru



info@exponenta.ru



+7 (495) 009 65 85

Telegram



[@exponenta_energy](https://t.me/exponenta_energy)

 ЭКСПОНЕНТА