



КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИТМ

Российский комплекс для моделирования
электроэнергетических систем в режиме
реального времени



ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ HiL-ТЕСТИРОВАНИЯ



КПМ РИТМ

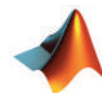
- ▶ Моделирование ЭЭС и силовой электроники для исследования переходных процессов
- ▶ Разработка алгоритмов для терминалов РЗА, первичного оборудования, СНЭ и ВИЭ
- ▶ Поддержка протоколов МЭК 61850 (в т.ч. профиль ФСК), C37.118, PTPv2, PRP, Aurora
- ▶ Киберполигоны для оценки устойчивости оборудования ЭЭС к киберугрозам
- ▶ Испытания реальных терминалов РЗА, УСВИ и КСВД
- ▶ Цифровые двойники оборудования для предиктивного обслуживания
- ▶ Лабораторные стенды, обучение и тренинги для повышения квалификации
- ▶ PHIL-тестирование силовых преобразователей
- ▶ HiL-тестирование встраиваемых систем управления в режиме жесткого реального времени



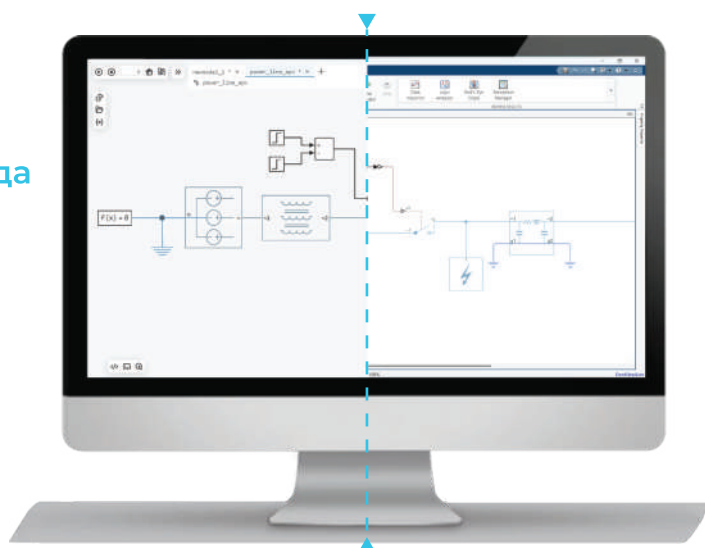
БЕСШОВНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ С ВЕДУЩИМИ МОДЕЛИРУЮЩИМИ ПЛАТФОРМАМИ



Российская среда
моделирования
Engee



Среда
моделирования
MATLAB / Simulink



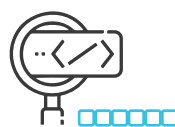
Библиотека блоков для
работы с цифровыми и
аналоговыми модулями
ввода/вывода КПМ РИТМ



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



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

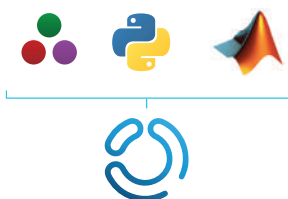


Высокоуровневый язык для
скриптов, обработки данных
и визуализации

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 C 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

1D

Среда
динамического
моделирования



Генерация кода,
полунатурное
тестирование

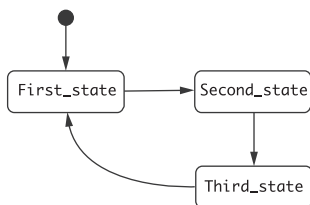
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Моделирование алгоритмов управления и логики

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

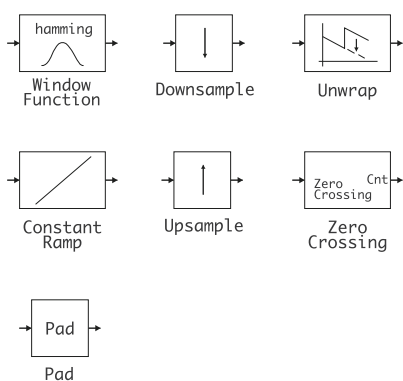
Конечные автоматы

Обработка отказов,
управляющая логика



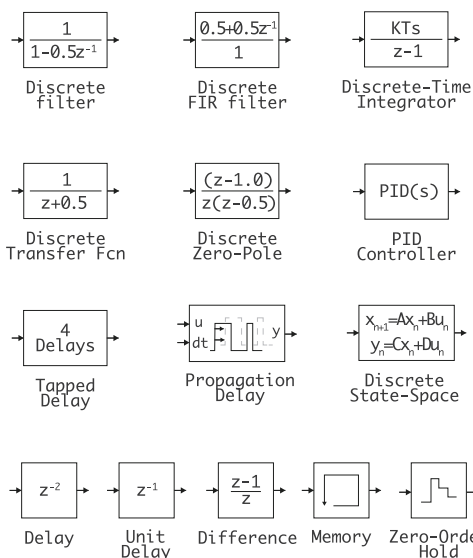
Многоскоростные системы

Подсистемы с разным
временем

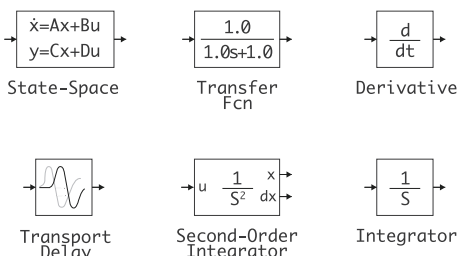


Гибридные системы

▼ Дискретные

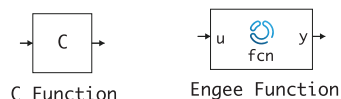


▼ Непрерывные



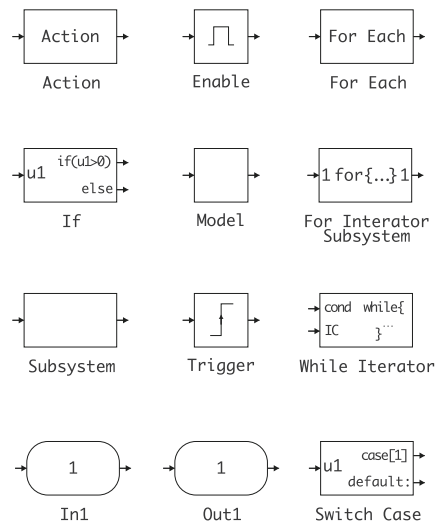
Пользовательские блоки

Интеграция кода С и
пользовательского кода



Архитектура моделей

Подсистемы, циклы,
условные конструкции



Полное описание,
документация и обучение:

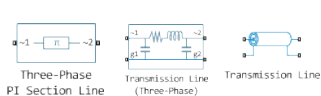


► start.engee.com

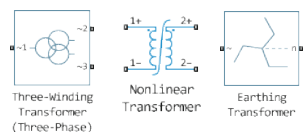
Готовая библиотека блоков энергетических элементов



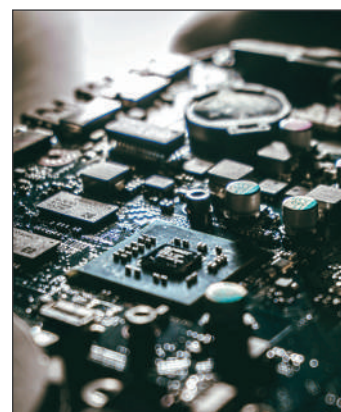
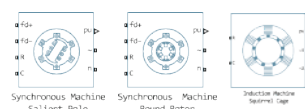
Линии электропередачи



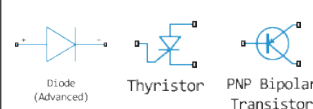
Электрические машины



Трансформаторы



Полупроводники



Исследование
электромагнитных и
электрохимических
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

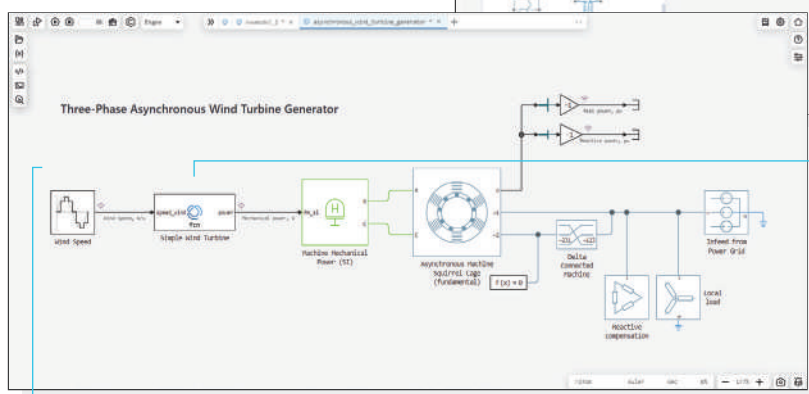
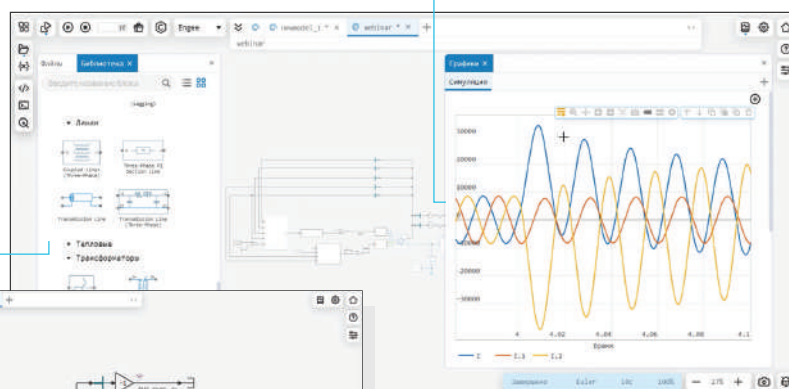
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

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
Engage 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.

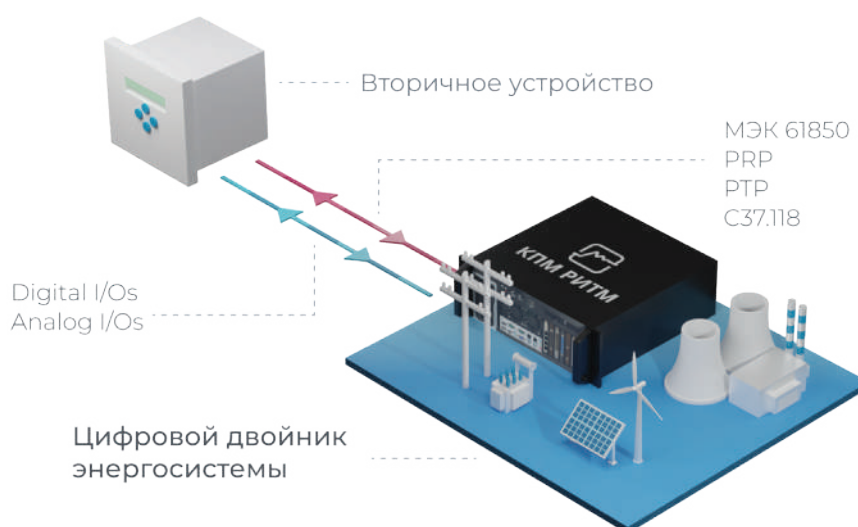
Импортируйте ваши данные в виде сигналов внутрь модели или экспортируйте их из модели, проводите сравнение, обработку и анализ с помощью скриптов.



```
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] = engage.run(model; verbose=false)
28   L_kz1 = L_kz1 + 10;
29   L_kz2 = 40 - L_kz1;
30 end
```

» 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.



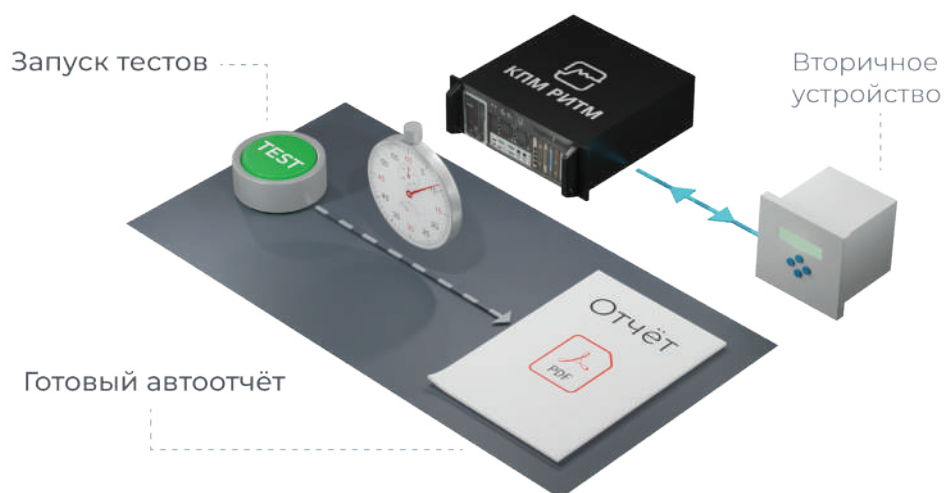
» Быстрое прототипирование

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.



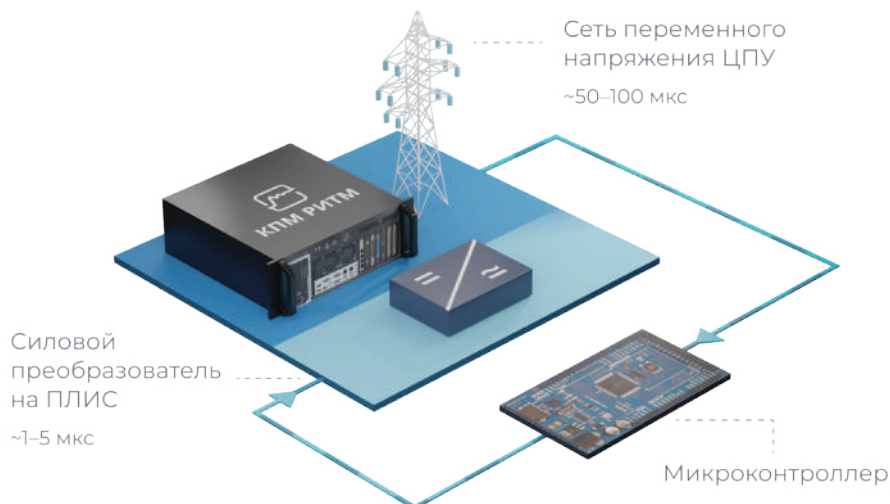
» Автоматизация тестирования

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.



» 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 позволят предсказывать возможные неисправности или сложные дефекты с помощью машинного обучения, временных рядов или других методов.



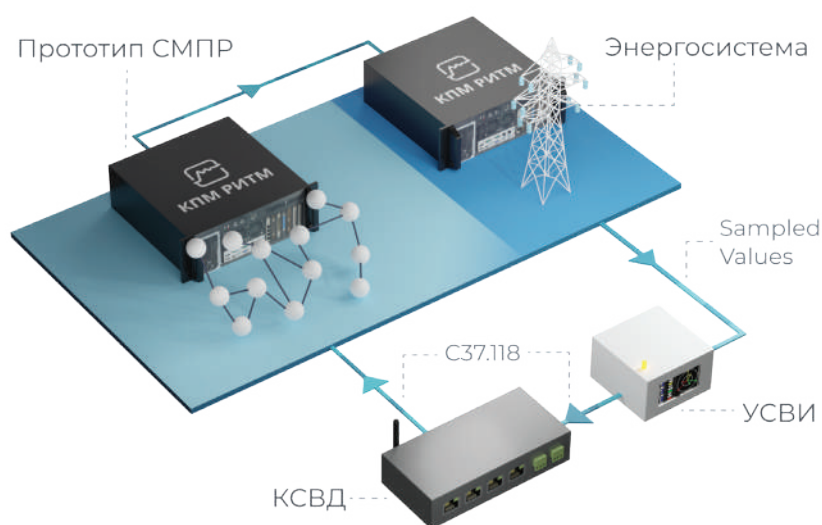
» Модернизация киберполигонов

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 предоставляет дополнительные инструменты и функциональность за счет более современного моделирующего ПО для более глубокого и детального анализа работы электроэнергетических систем.



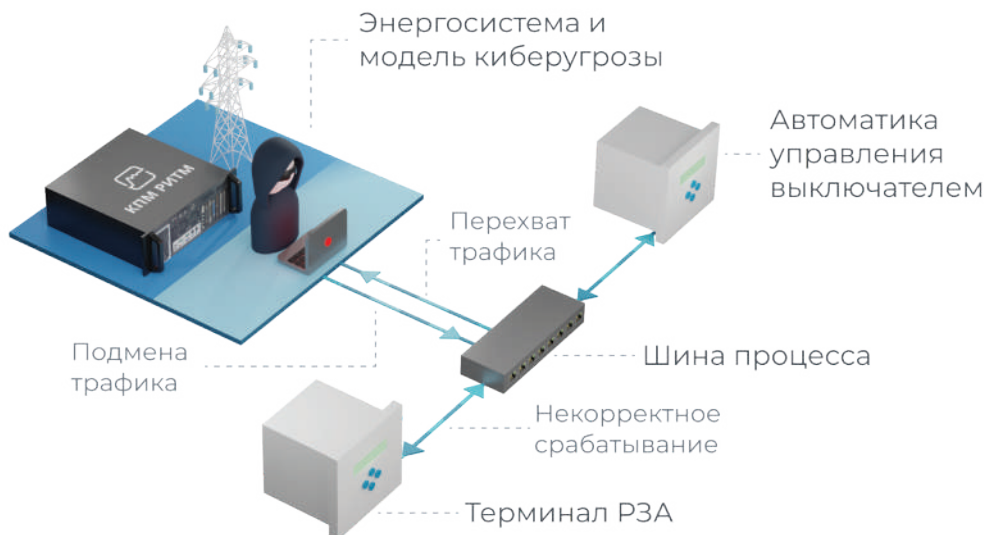
» Моделирование СМНР

Принятие обоснованных решений и снижение рисков возникновения аварийных ситуаций в рамках системы мониторинга переходных режимов (СМНР). КПМ РИТМ благодаря поддержке протокола С37.118 и возможности работы с внешними устройствами (УСВИ, КСВД) является удобным инструментом для исследования и разработки новых алгоритмов управления режимами электрических сетей в рамках СМНР.



» 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 МЭК61850, С37.118, РТР, РРР.



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, RTPv2, 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 ввода-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 входами/выходами)

► 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 Aurora

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



Полунатурное моделирование в режиме жесткого реального времени на КПМ РИТМ



Протоколы связи, разработка библиотек компонентов для передачи данных по сети



Построение моделей, моделирование объектов электроэнергетики



Тестирование и отладка, автоматическое формирование отчетов и предварительная аттестация устройств



Разработка алгоритмов и быстрое прототипирование алгоритмов с использованием генерации кода



КПМ РИТМ

В ЭНЕРГЕТИКЕ



НАШИ ПРОЕКТЫ



Модернизация
центра
моделирования

НПП «ЭКРА»



Научно-
исследовательский
полигон

ЮГУ



Оснащение
учебно-научного
центра цифровых
технологий

ДАЛЬГАУ



Имитационный
стенд

КОМИ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
«УРО РАН»



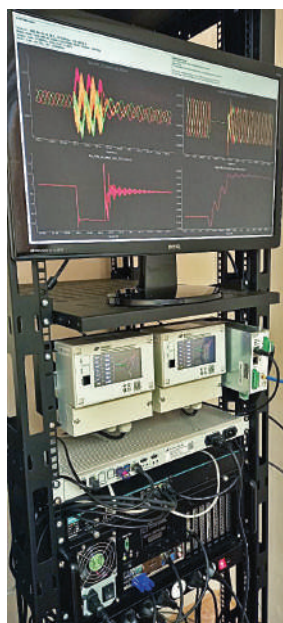
Имитационный
стенд

НПО «ФАРВАТЕР»



Оснащение
учебной
лаборатории

НГТУ НЭТИ



НАШИ КОНТАКТЫ



energy.exponenta.ru



info@exponenta.ru



+7 (495) 009 65 85

Telegram



@exponenta_energy



ЭКСПОНЕНТА