



ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ENGEE

Даниил Тимофеев

Лаборатория ЦМвЭЭ ЦИТМ «Экспонента»

Моделирование в электроэнергетике

Отложенное время

- 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



Реальное время



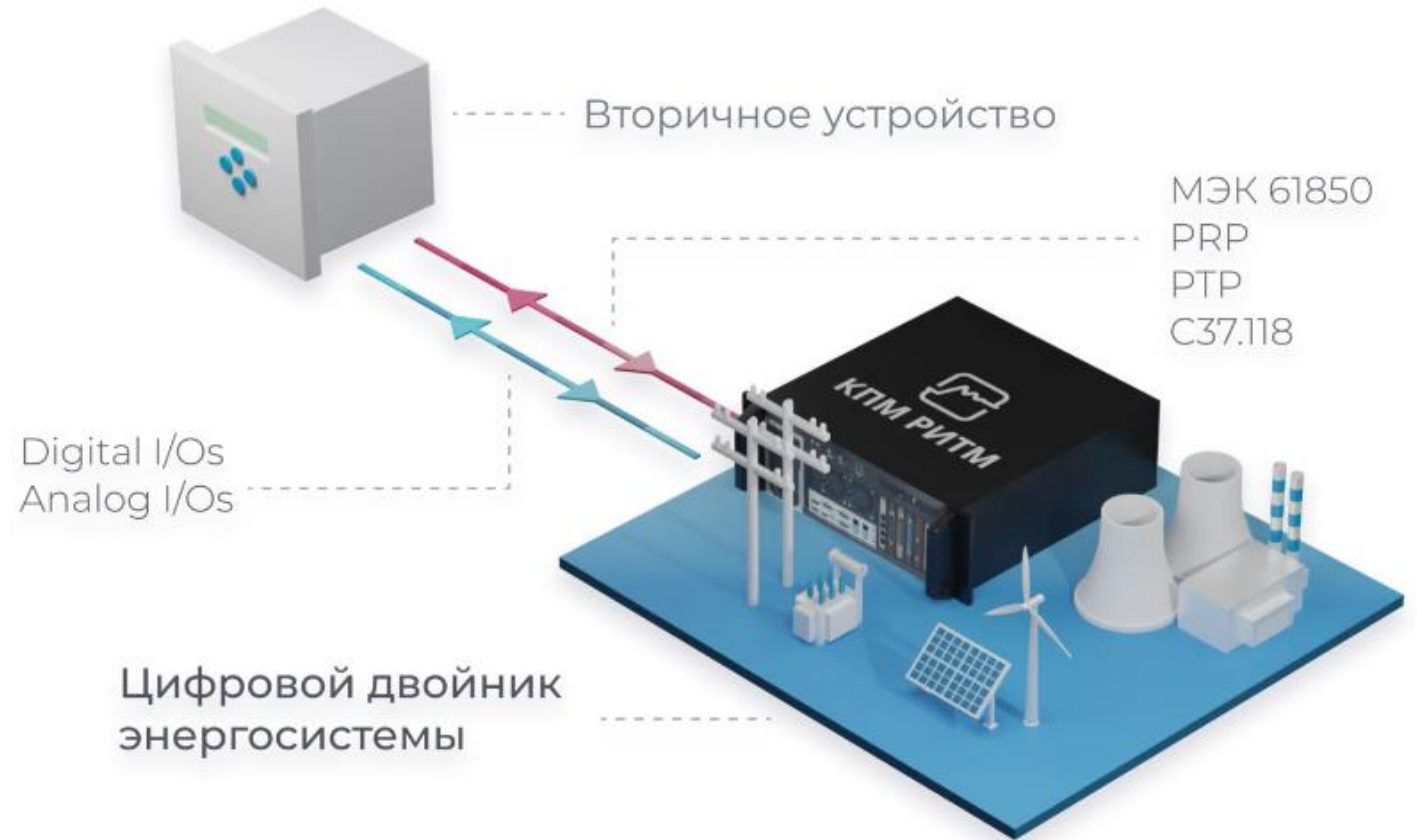
- 01 Использование программно-аппаратных комплексов моделирования в реальном времени
- 02 Различные виды тестирования вторичных или первичных устройств, систем и оборудования
- 03 Быстрое прототипирование, отладка при разработке



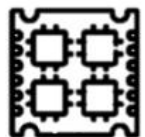
Сценарии использования продуктов

Тестирование вторичных устройств

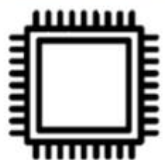
Предварительное испытание и отладка прототипа разрабатываемого устройства, подготовка устройства к сертификации



Моделирование в электроэнергетике



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



ПЛИС
для модели силовой
электроники (от 20 нс)



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

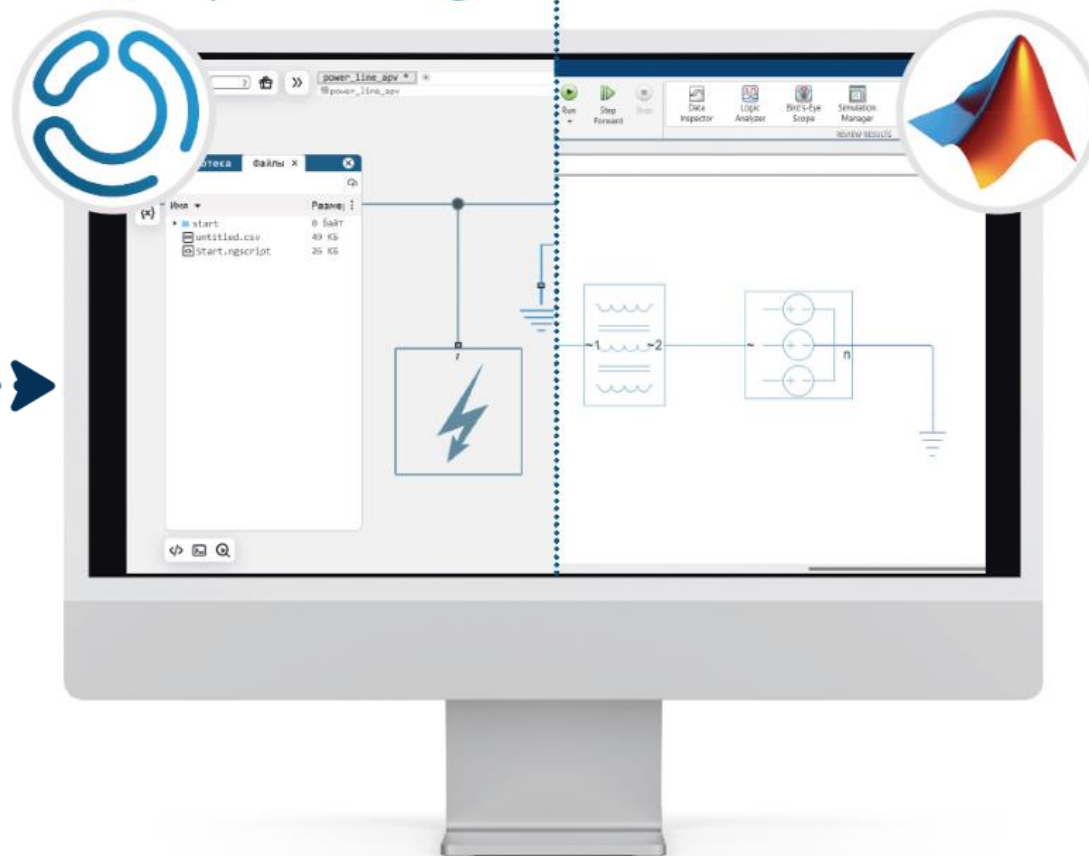


ОС реального времени
для обеспечения
жесткого РВ



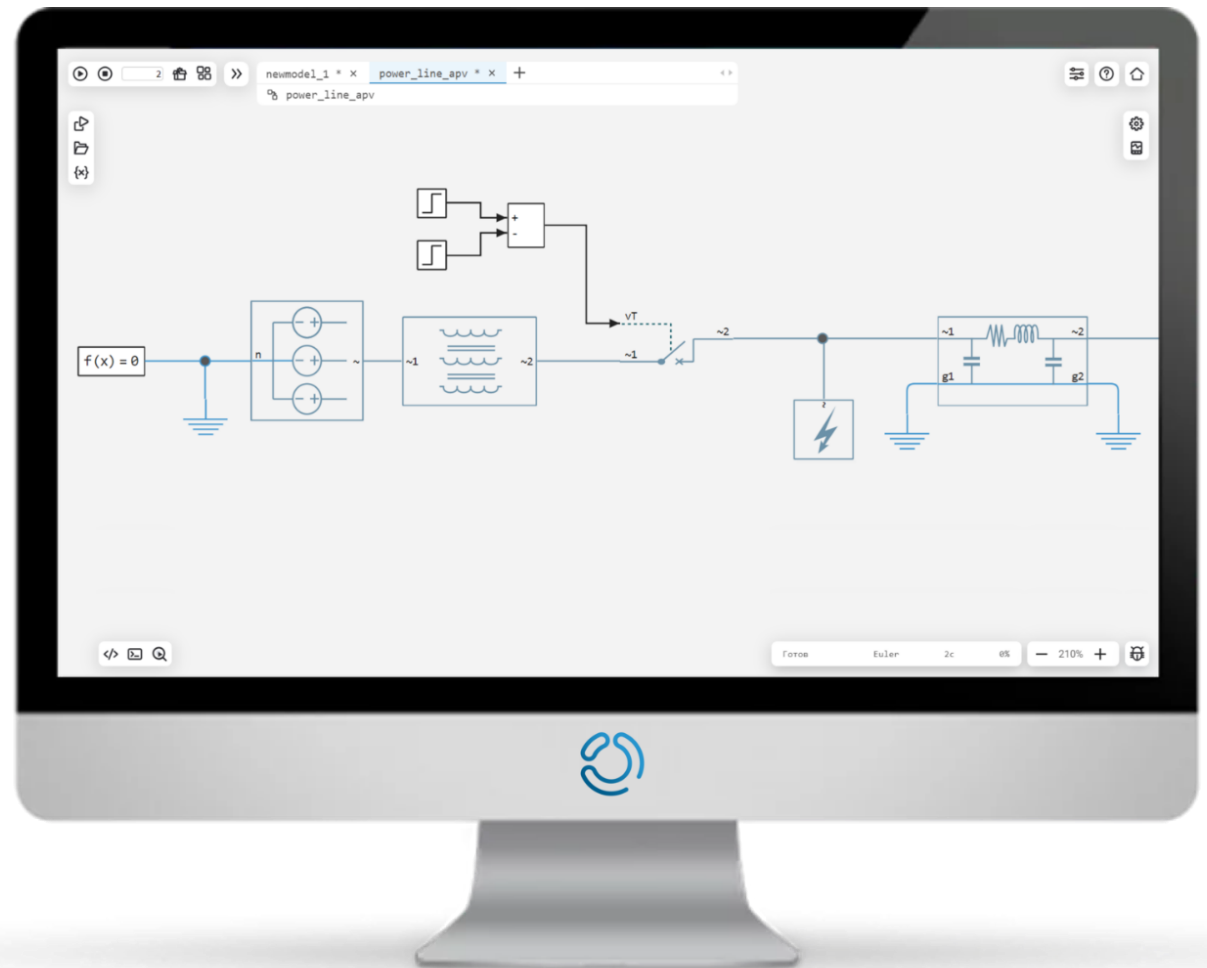
Российская среда
моделирования **EngEE**

Среда моделирования
MATLAB/Simulink



Engee

Российская среда для технических исследований и модельно-ориентированного проектирования



Engее – среда для разработки сложных систем



Графики

Визуализируйте и исследуйте результаты



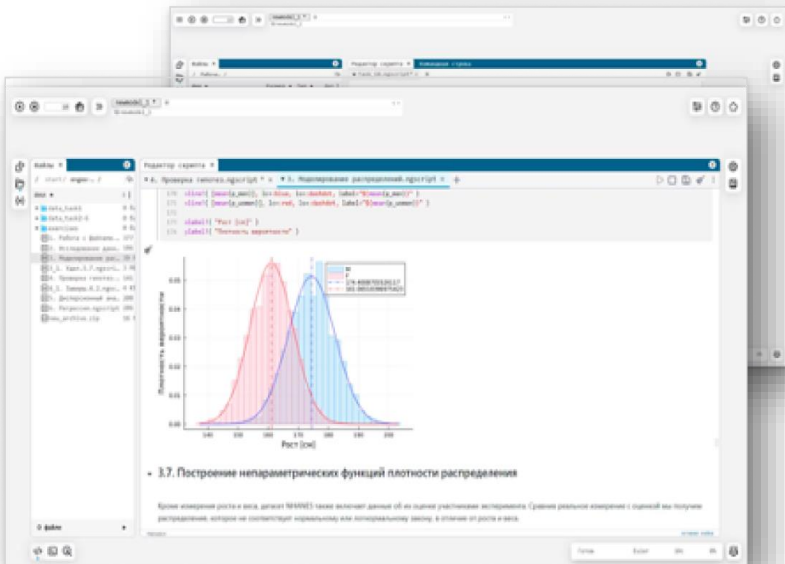
Анализ данных

Исследуйте, моделируйте и анализируйте данные



Программирование

Создавайте скрипты, функции и классы

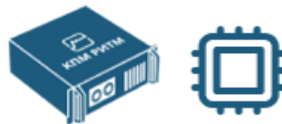


Среда математических
вычислений

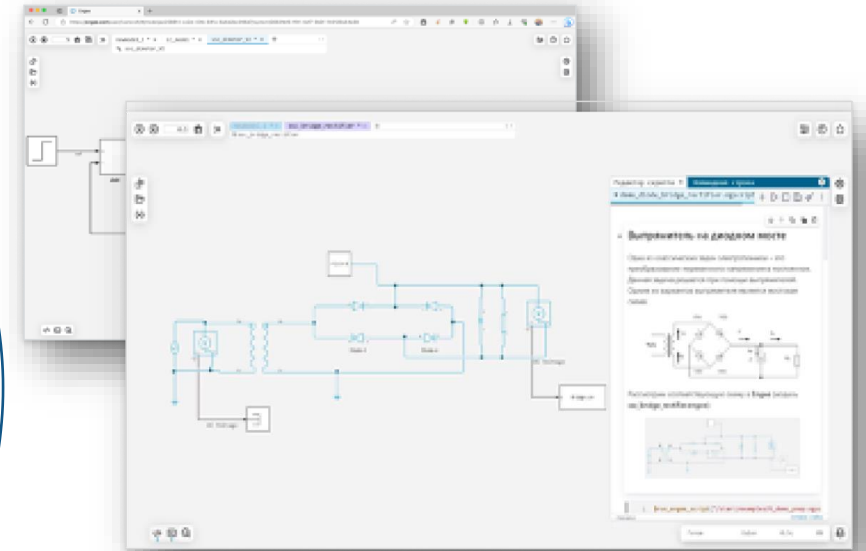


Среда динамического
моделирования

1D-моделирование



Генерация кода,
полунатурное тестирование



Мультидоменное моделирование
алгоритмов и физических систем

Многоуровневое моделирование для
построения сложных архитектур систем

Автоматическая генерация кода,
непрерывное тестирование

Engee - наиболее полная альтернатива

Уникальный скриптовый язык и редактор «как в Матлабе»



Блоки работают «как в Симулинке»



Движок 1D моделирования для замены Amesim, Simscape



Обеспечивает комфортное замещение и миграцию



Мультиязычность: ML, Py, JI, C, DLL



Эргономичный интерфейс и инженерные приложения



Генерация C кода и полунатурное тестирование



Современная клиент-серверная архитектура



Среда математических вычислений



Среда динамического моделирования

1D-моделирование



Генерация кода, полунатурное тестирование

Среда технических расчетов Engee

Среда, созданная для инженерных исследований

Эргономичные интерактивные ноутбуки

Мультиязычность (Engee (jl), Python, MATLAB, C/C++, dll/lib)

Высокая скорость работы среды

Инженерная графика



Мультиязычность

Engee не изолирует пользователя проприетарным языком и открыт международному научно-техническому сообществу



The screenshot shows the Engee IDE interface with a multi-language workflow. It starts with a comment in Russian: "Сейчас мы работаем в Engee (jl)". Then, it shows a code block with Julia syntax: `1 using Flux` and `2 A = [1, 2, 3];`. Next, a comment says "Переключимся на MATLAB", followed by a code block with MATLAB syntax: `3 using MATLAB` and `4 mat"A = [1, 2, 3]"`. Then, a comment says "А теперь перейдем в Python", followed by a code block with Python syntax: `5 $py`, `6 import numpy as np`, and `7 A = np.array([1, 2, 3])`. Finally, a comment says "И вернемся обратно в Engee (jl)", followed by a code block with Julia syntax: `8 $jl`. The interface includes a blue circular logo in the top left and a plus sign in the top right.

```
Сейчас мы работаем в Engee (jl)

1 using Flux
2 A = [1, 2, 3];

Переключимся на MATLAB

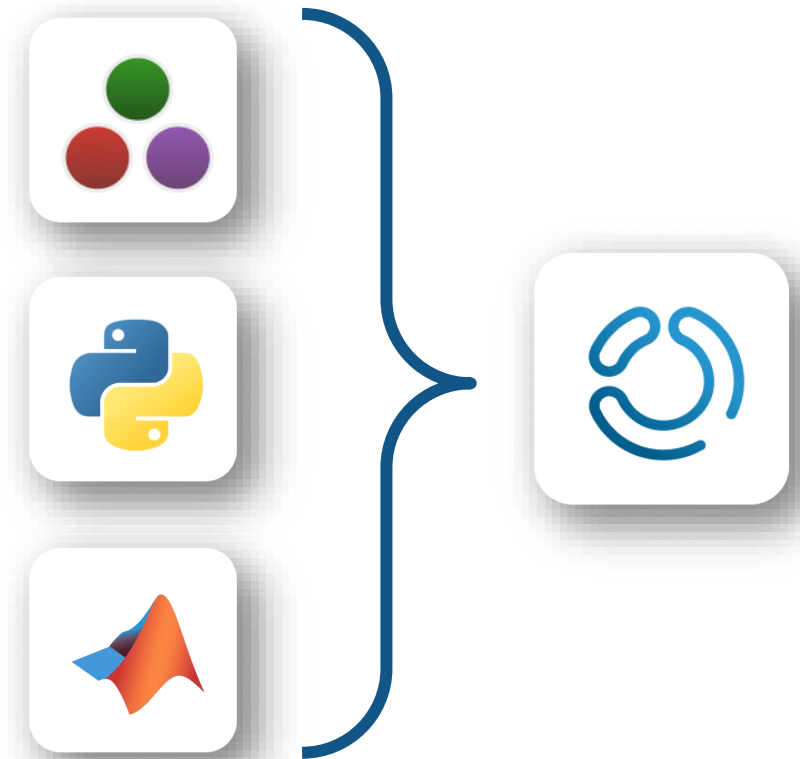
3 using MATLAB
4 mat"A = [1, 2, 3]"

А теперь перейдем в Python

5 $py
6 import numpy as np
7 A = np.array([1, 2, 3])

И вернемся обратно в Engee (jl)

8 $jl
```



Среда динамического моделирования

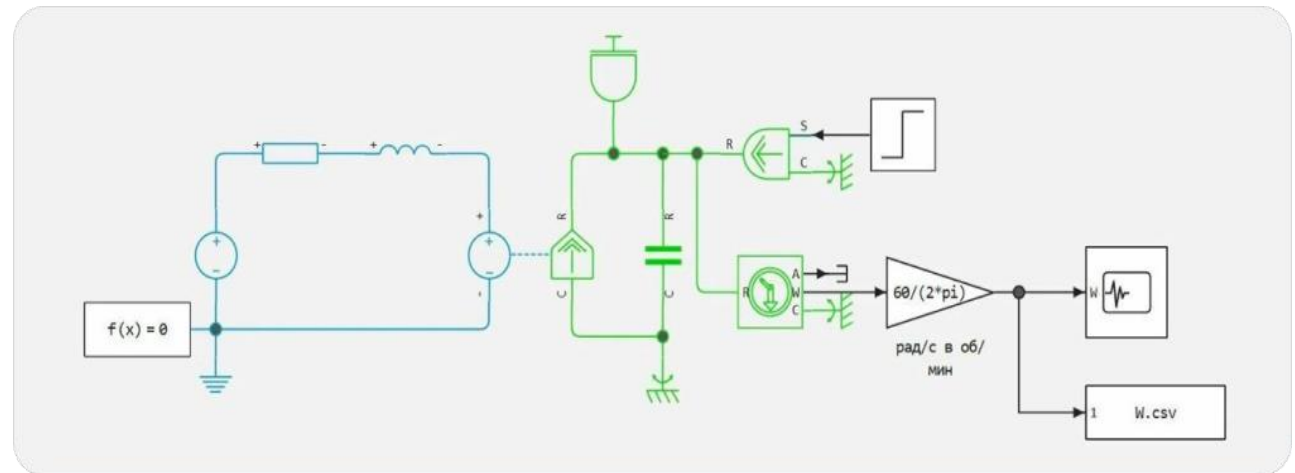


Engage

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

Многоуровневое моделирование для построения архитектур систем

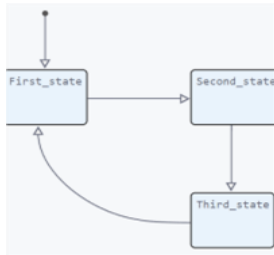
Мультидоменное моделирование алгоритмов и физических систем



Engage: моделирование алгоритмов управления и логики

Конечные автоматы

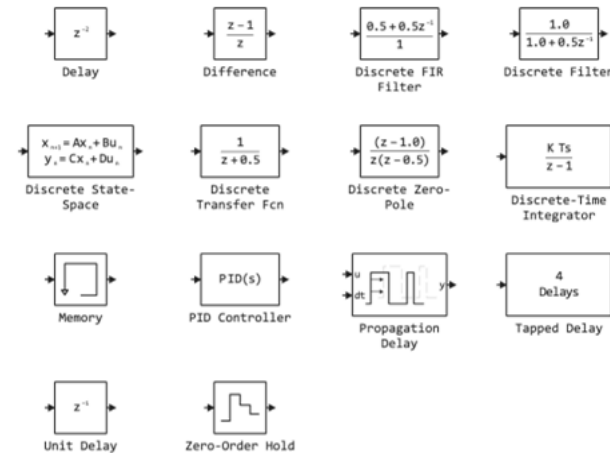
Обработка отказов,
управляющая логика



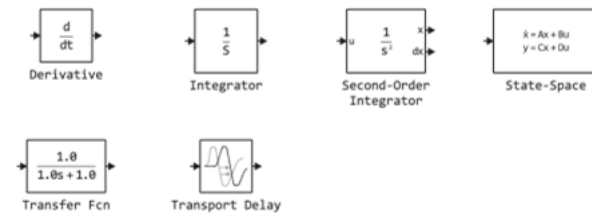
Гибридные системы

Дискретные и непрерывные

Дискретные



Непрерывные



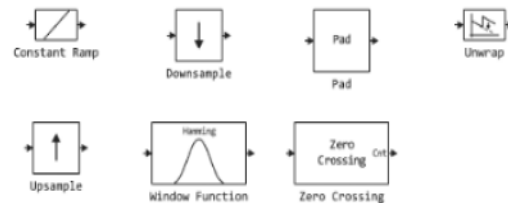
Пользовательские блоки

Интеграция кода C и
пользовательского кода



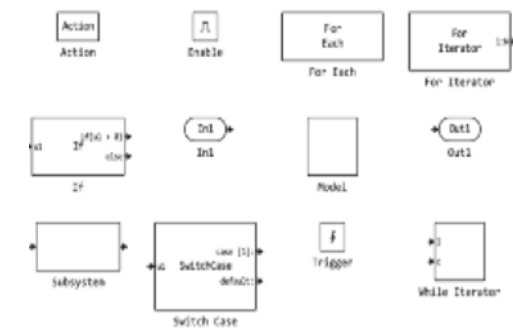
Многоскоростные системы

Подсистемы с разным временем
дискретизации



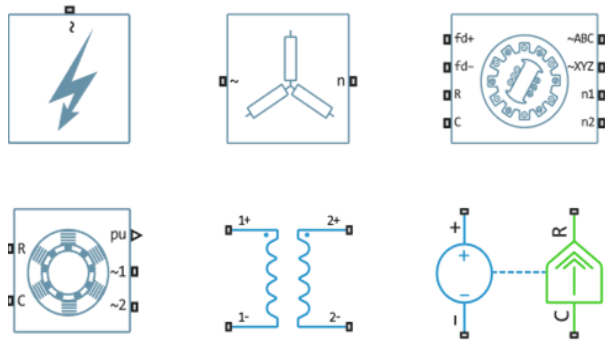
Архитектура моделей

Подсистемы, циклы, условные
конструкции

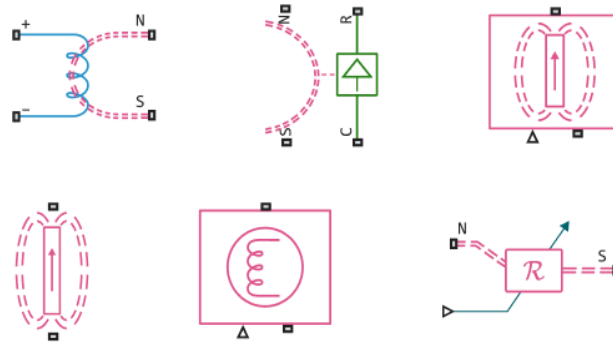


Engoe: моделирование «физики»

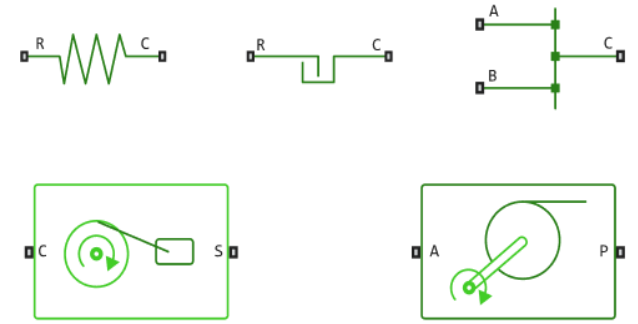
Электричество



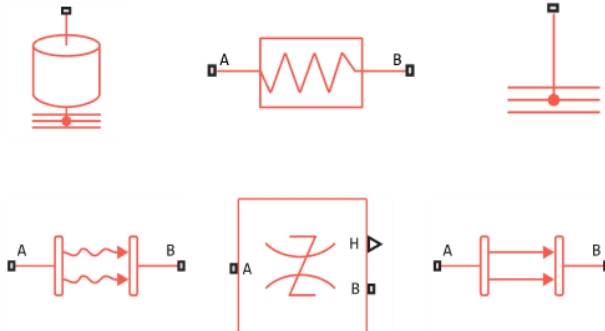
Магнетизм



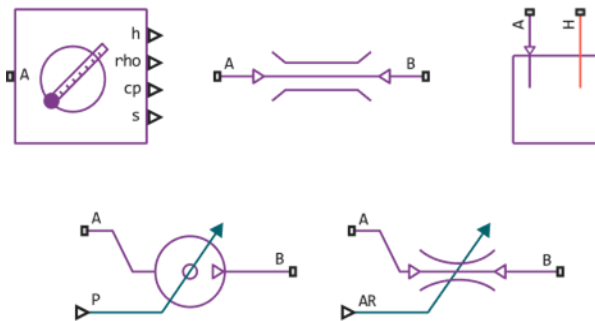
Механика



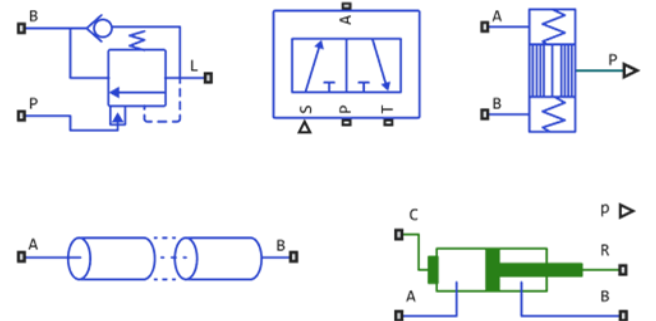
Теплотехника



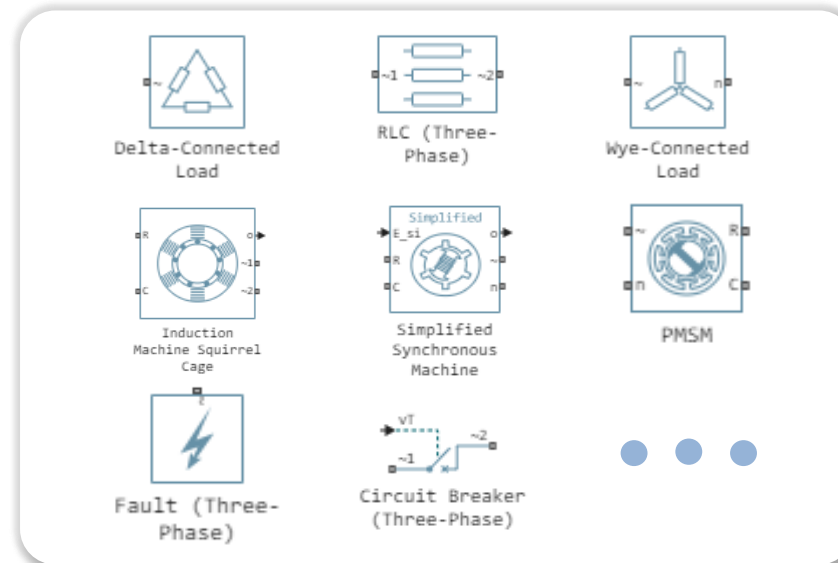
Газ



Гидравлика



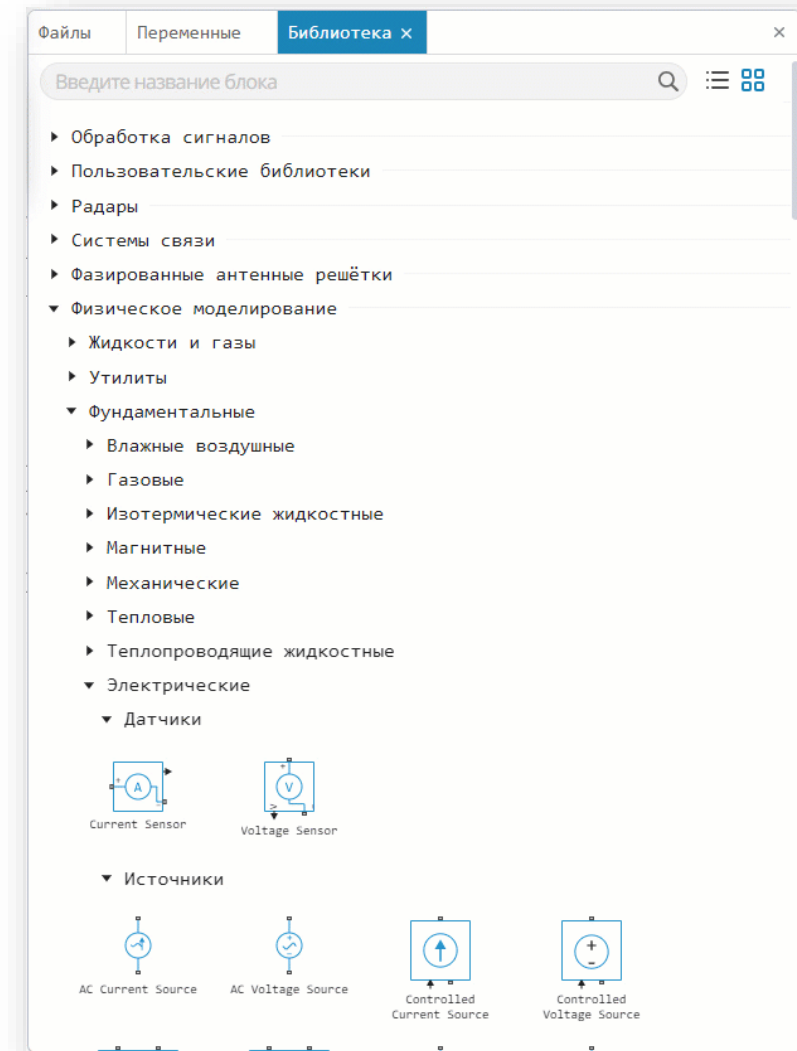
Блоки электроэнергетических элементов



Блоки электроэнергетических элементов

Что можно моделировать:

- ✓ Электроэнергетические сети и электромагнитные п/п
- ✓ Различные электрические машины и электромеханические п/п
- ✓ Трансформаторы с учетом нелинейности
- ✓ Модели передачи (различные виды ЛЭП) и потребления электроэнергии
- ✓ Элементы электроники
- ✓ Опыты КЗ и коммутации
- ✓ Системы управления и логики



Работает так же, как и Simulink

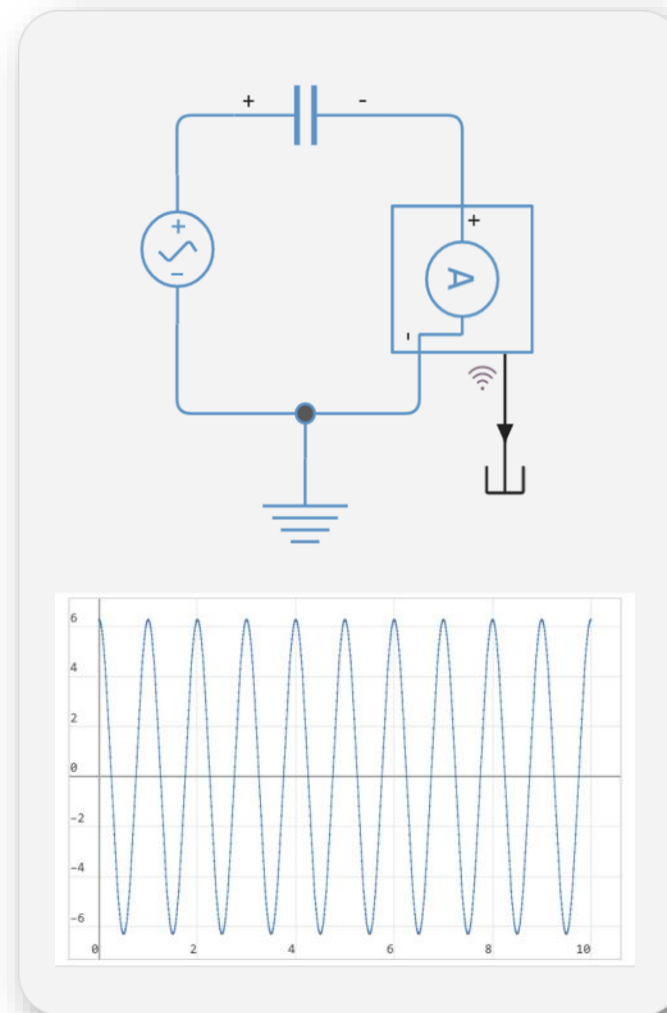
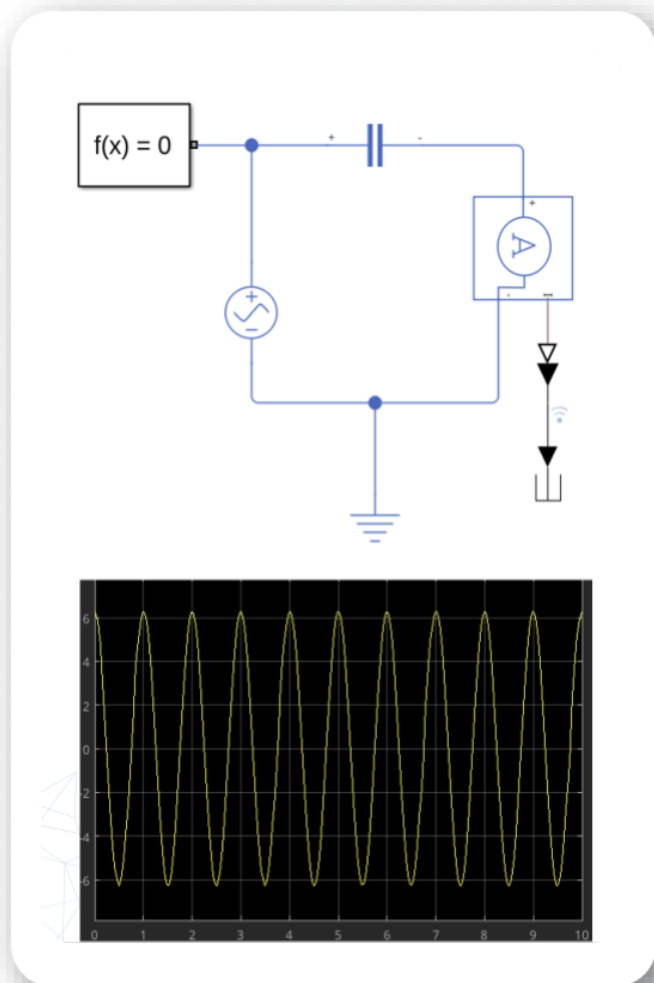
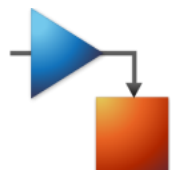
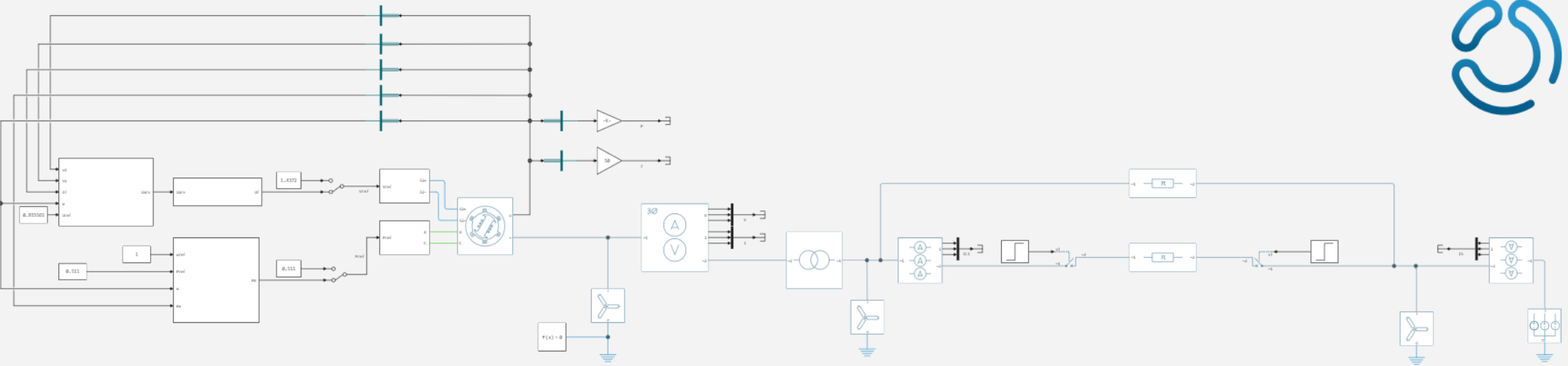
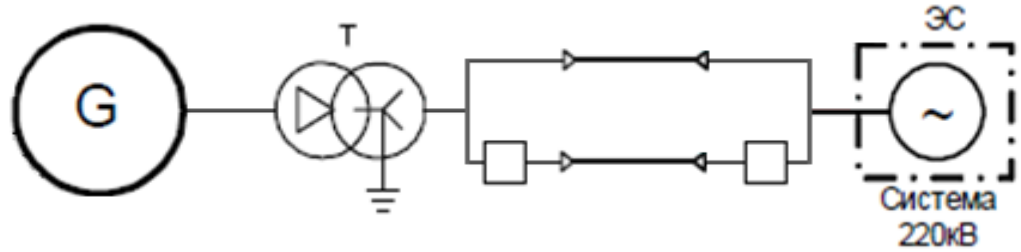
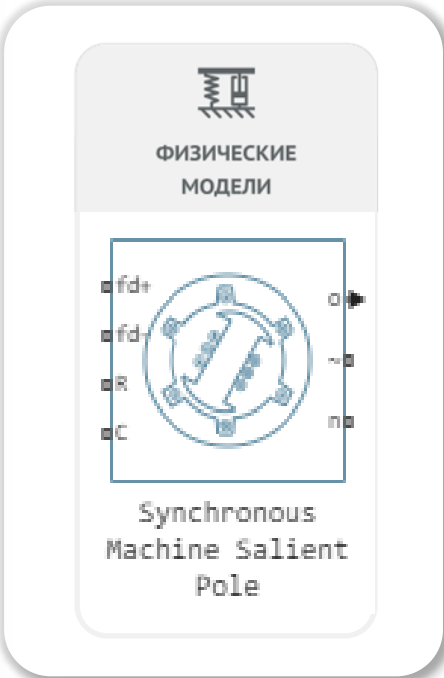
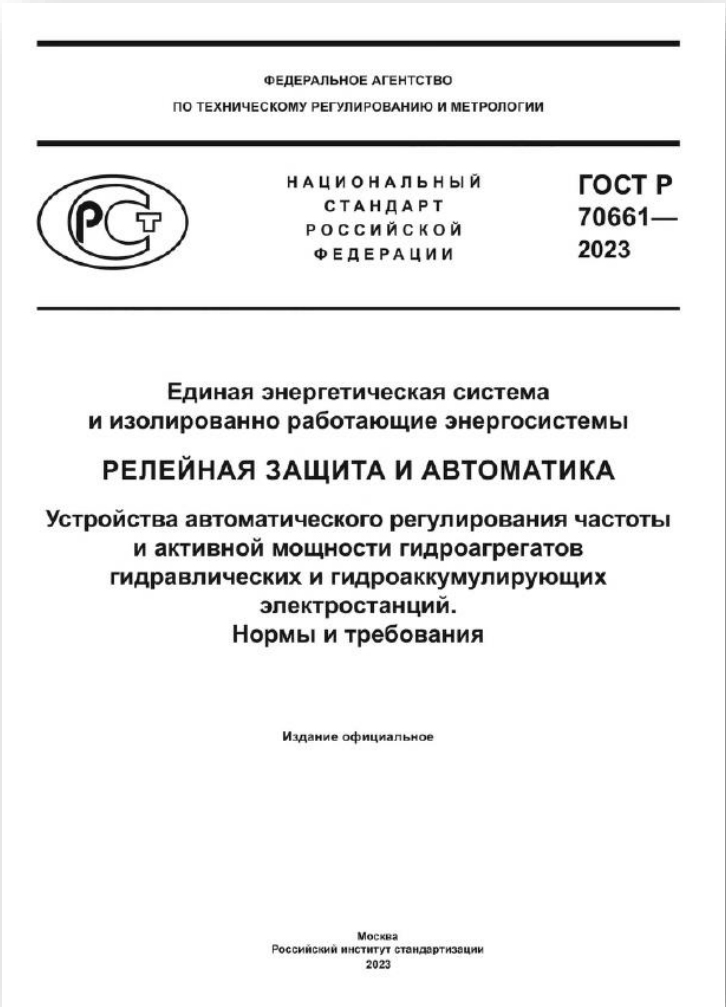


Схема сети

Модель блока генератор –
трансформатор работающего через
двухцепную ЛЭП на систему
бесконечной мощности 220 кВ



Используемые материалы



В качестве исходных параметров для
синхронного генератора будут
использованы параметры для
гидрогенераторов по ГОСТ Р 70661-2023

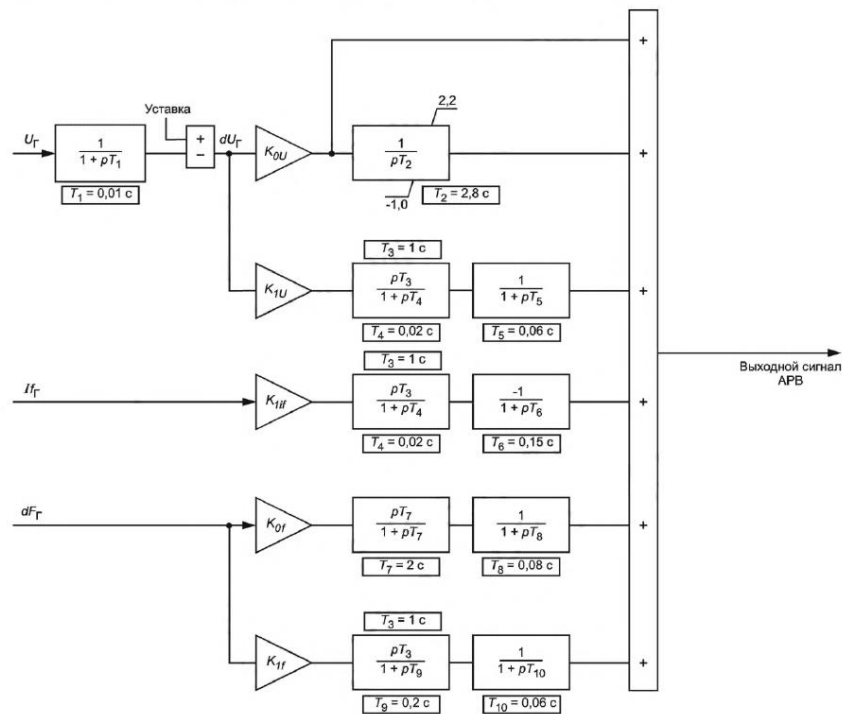
Название генера- тора	$P_{\text{ном}}$	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$U_{\text{ном}}$	T_j	D	X_e	X_d	X_d'	X_d''	X_q	X_q'	X_q''	R_e	T_{d0}'	T_{d0}''	T_{q0}'	T_{q0}''
	МВт	—	кВ	МВт*с/ МВА	—	о.е.								с			
1ГА	250	0,85	15,75	6,23	0	0,13	1,5	0,3	0,2	0,9	—	0,2	0,003	8	0,15	—	0,3

Используемые материалы



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
70661—
2023



НЕПРЕРЫВНЫЕ
МОДЕЛИ

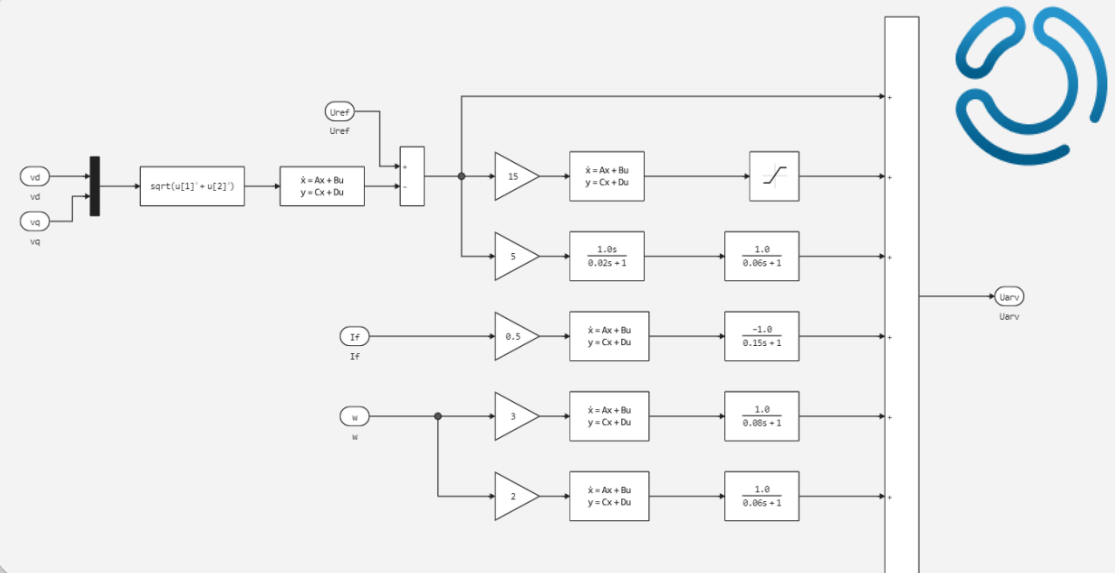
Системная динамика
Модели окружения



ДИСКРЕТНЫЕ
МОДЕЛИ

Цифровое управление
ЦОС
РЛС
Компьютерное зрение

**Моделирование
пользовательской
логики для систем
управления**



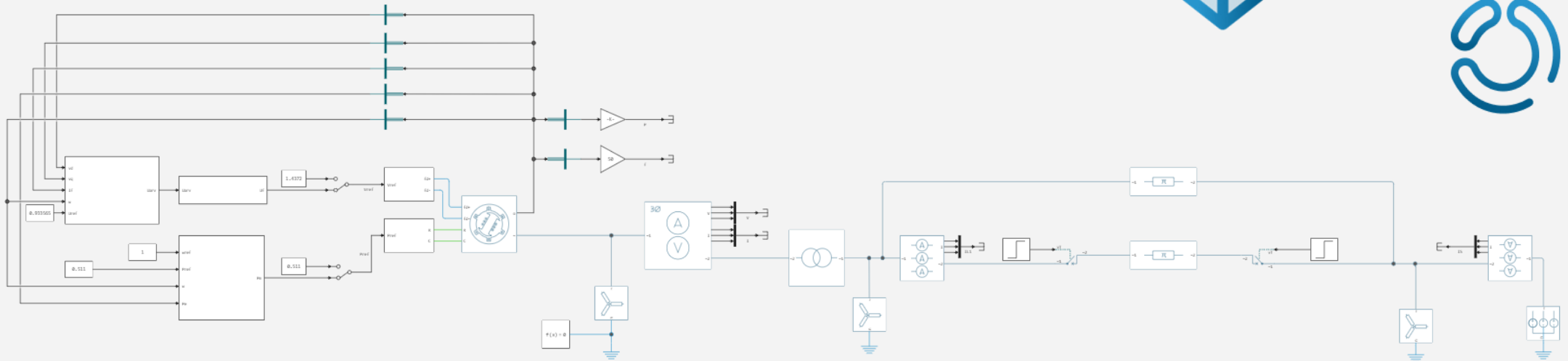
Автоматизация

Программирование

Создавайте скрипты и функции для программного управления моделью и автоматизации опытов



```
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
```



tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



@EXPONENTA_ENERGY

Спасибо за внимание!
Задавайте Ваши вопросы