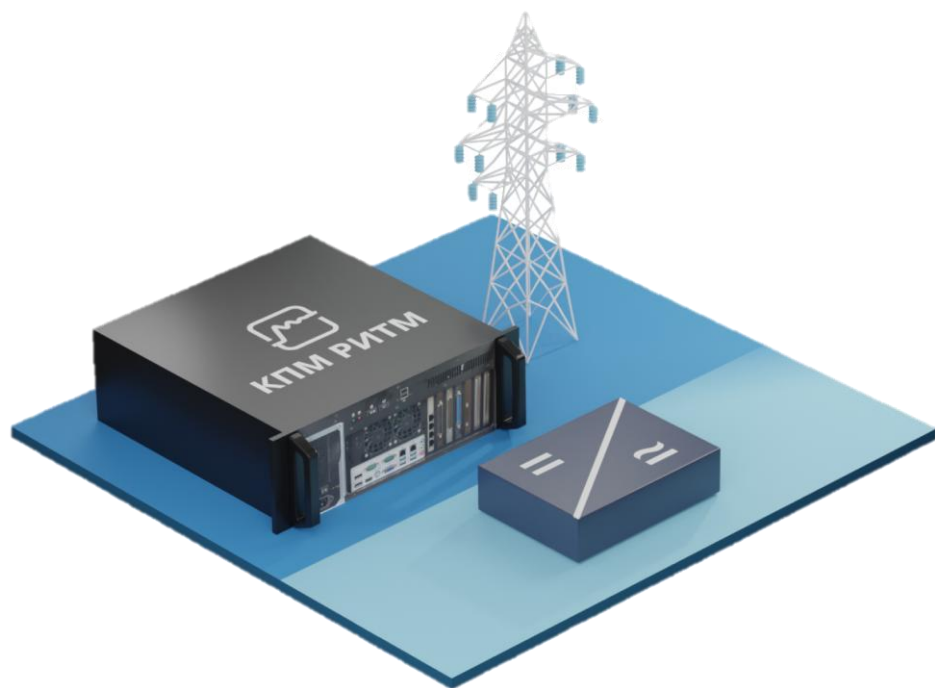




ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Силовая электроника в Engее

Илья Бердышев

Лаборатория ЦМвЭЭ ЦИТМ «Экспонента»

План вебинара

- Возможности Engae для моделирования силовой электроники
- Техники моделирования DC/DC преобразователей
- Техники моделирования AC/DC преобразователей
- Тестирование модели трёхфазного инвертора на соответствие требованиям ГОСТ

Модельно-ориентированное проектирование



Engage: моделирование алгоритмов управления и логики

Логические операции и Конечные автоматы

▼ Конечные автоматы



Chart

▼ Логические и битовые



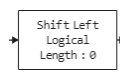
Bit Clear



Bit Set



Bit Concat



Shift Left Logical
Length: 0



Математические вычисления

Широкий набор для вычислений и ЦОС

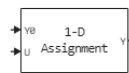
▼ Математика



Abs



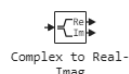
Add



1-D Assignment



Bias



Complex to Real-Imag



Divide



Dot Product



Gain



Гибридные системы Дискретные и непрерывные

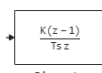
▼ Дискретные



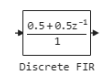
Delay



Difference



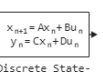
Discrete Derivative



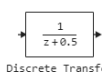
Discrete FIR Filter



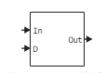
Discrete Filter



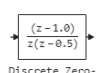
Discrete State-Space



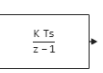
Discrete Transfer Fcn



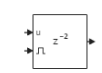
Discrete Variable Time Delay



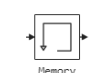
Discrete Zero-Pole



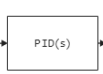
Discrete-Time Integrator



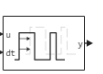
Enabled Delay



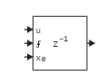
Memory



PID Controller



Propagation Delay



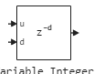
Resettable Delay



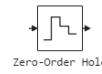
Tapped Delay



Unit Delay

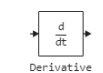


Variable Integer Delay



Zero-Order Hold

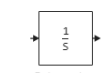
▼ Непрерывные



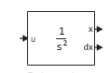
Derivative



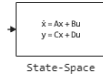
First Order Hold



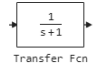
Integrator



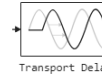
Integrator, Second-Order



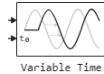
State-Space



Transfer Fcn



Transport Delay



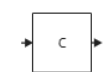
Variable Time Delay



Пользовательские блоки

Интеграция кода C и пользовательского кода

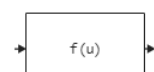
▼ Пользовательские функции



C Function



Engage Function



Fcn

Архитектура моделей

Подсистемы, циклы, условные конструкции

▼ Подсистемы



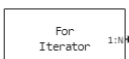
Action Port



Enable



For Each



For Iterator

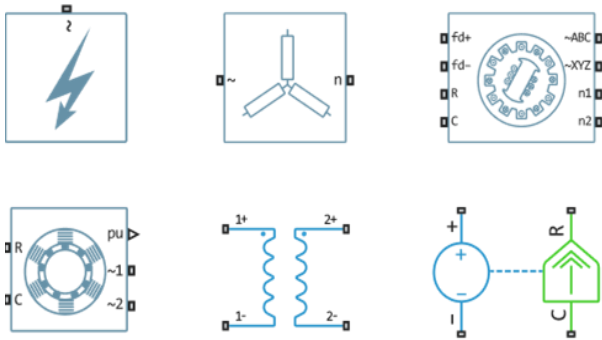


И многое другое...

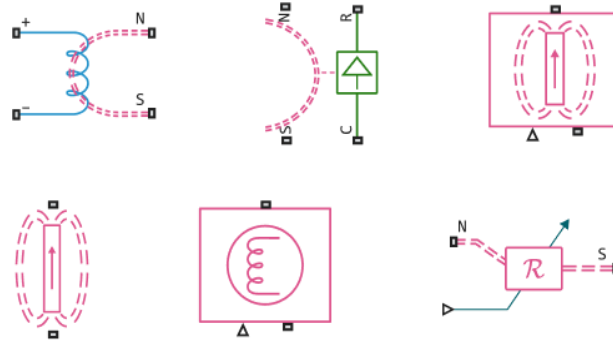


Engoe: моделирование «физики»

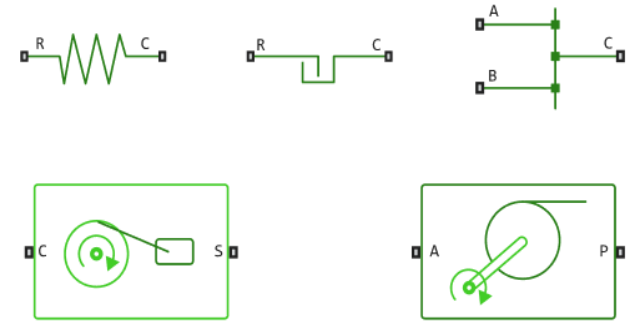
Электричество



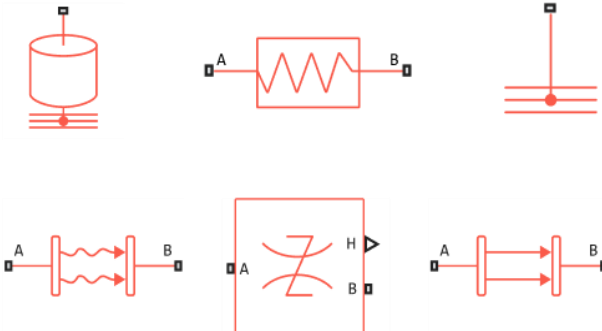
Магнетизм



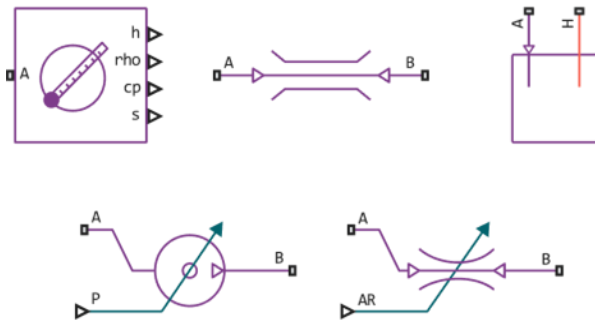
Механика



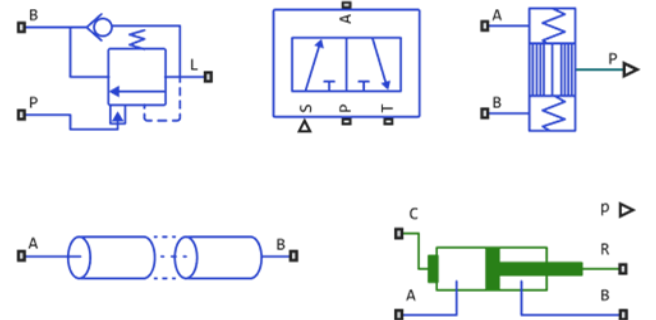
Теплотехника



Газ



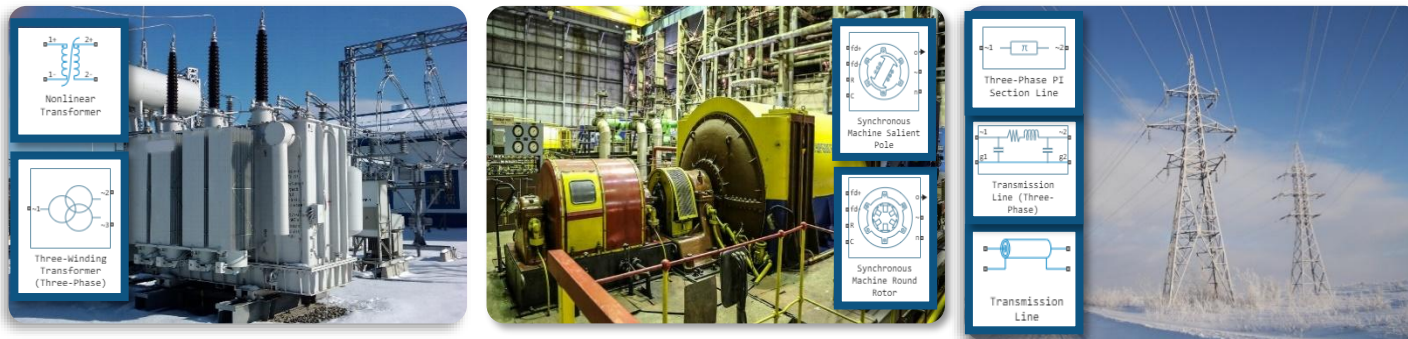
Гидравлика



Блоки электроэнергетических элементов

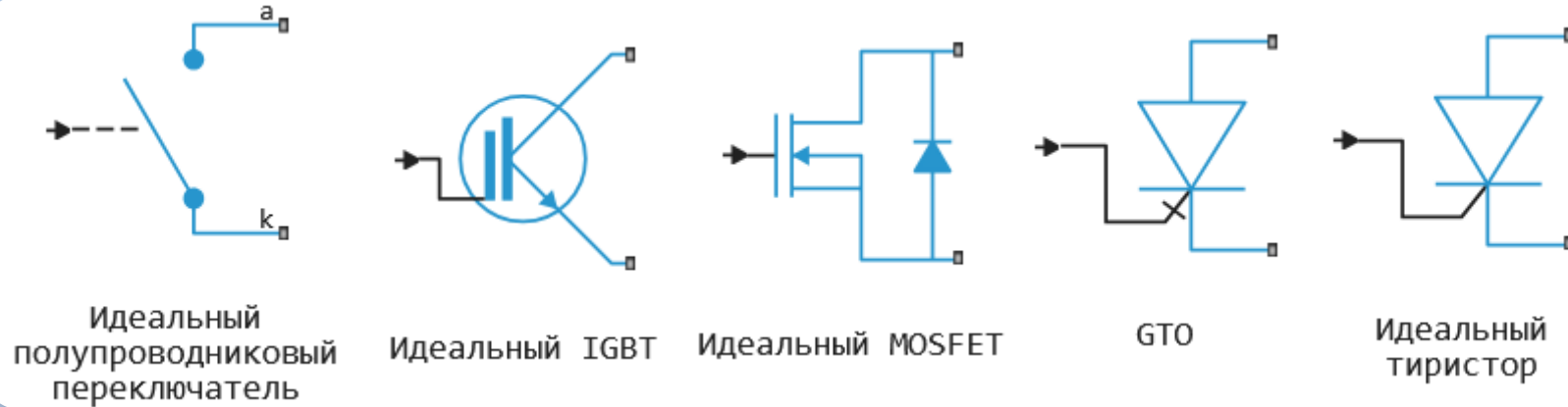
Что можно моделировать:

- ✓ 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

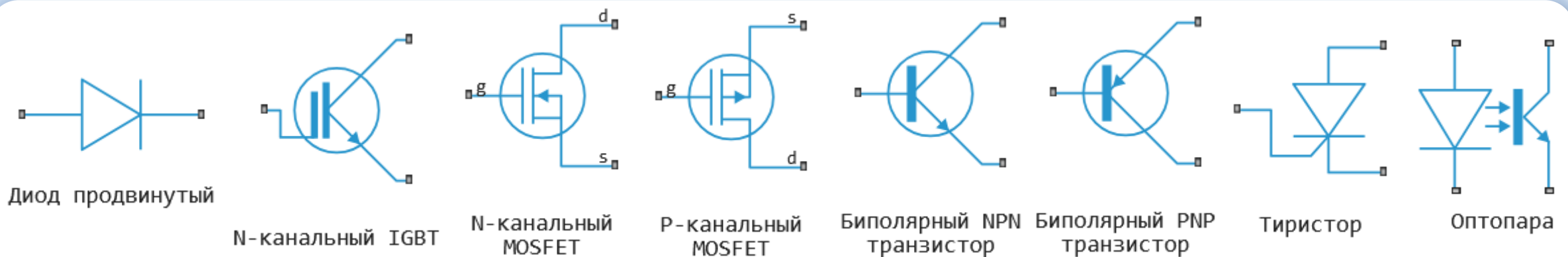


Силовая электроника в Engae

Идеальные полупроводники

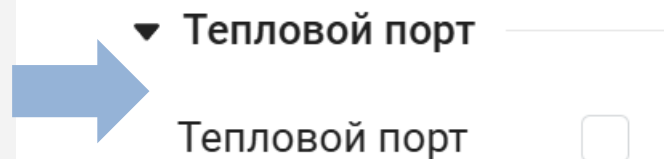
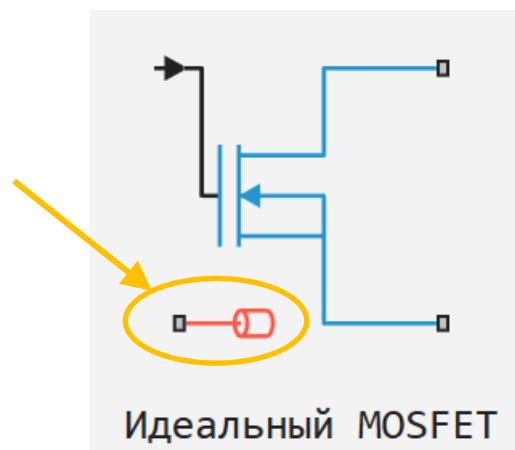


Продвинутые полупроводники

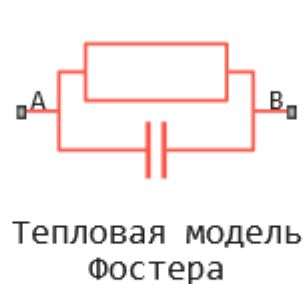
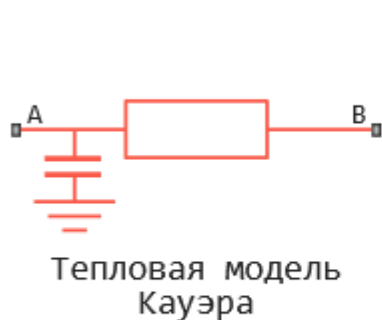


Силовая электроника в Engage

Тепловые модели полупроводников



Внешние тепловые модели



Потери при переключении

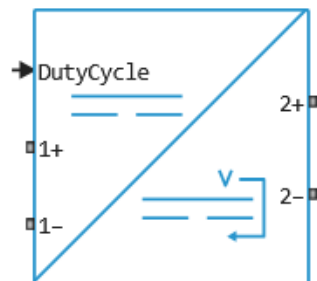
Потеря при включении	0.02286	Float64	Дж
Потери при выключении	0.01714	Float64	Дж
Напряжение в закрытом состоянии для данных о потерях	300.0	Float64	В
Выходной ток, для которого определены потери	600.0	Float64	А

Тепловой порт

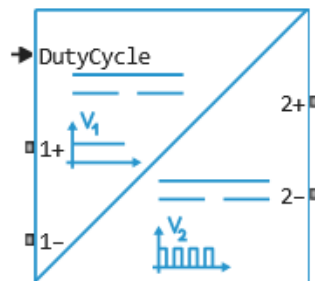
Тепловой порт	<input checked="" type="checkbox"/>
Тепловая модель	На основе тепловых параметров перехода и корпуса
Тепловые сопротивления переход-корпус и корпус-внешняя среда (или корпус-теплоотвод), [R_JC R_CA]	[0.03, 0.2] Vector{Float64} K/Вт
Параметризация теплоемкости	По тепловым постоянным времени
Тепловые постоянные времени перехода и корпуса, [t_J t_C]	[0.1, 5.0] Vector{Float64} с
Начальные температуры перехода и корпуса, [T_J T_C]	[25.0, 25.0] Vector{Float64} degC

Силовая электроника в Engae

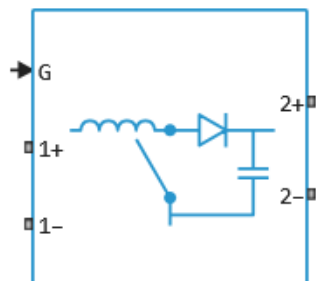
Готовые сборки полупроводников



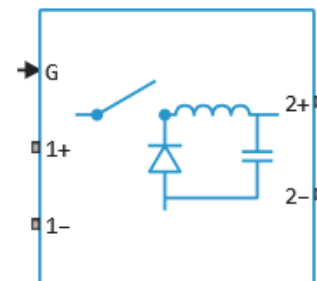
Усреднённый DC-DC преобразователь



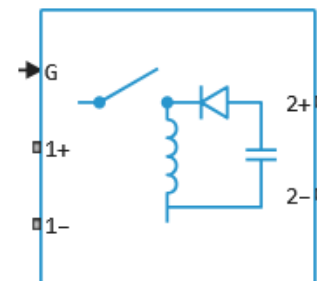
Усреднённый чоппер



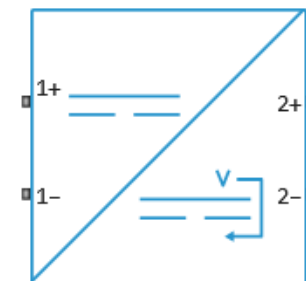
Повышающий преобразователь



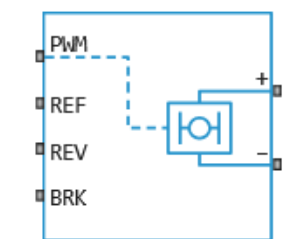
Понижающий преобразователь



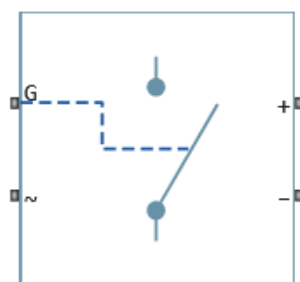
Повышающе-понижающий преобразователь



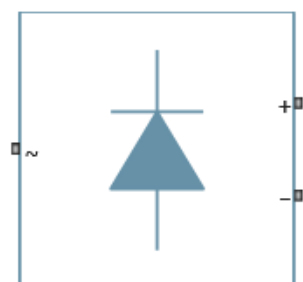
DC-DC преобразователь



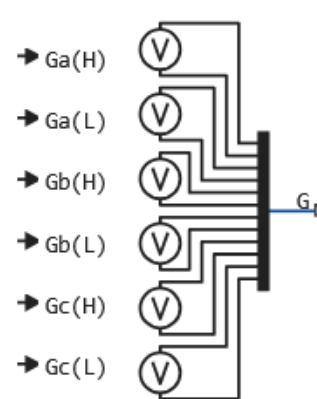
Н-мостовой драйвер двигателя



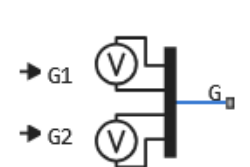
Преобразователь AC/DC (3 фазы)



Выпрямитель (3 фазы)



Шестиимпульсный мультиплексор

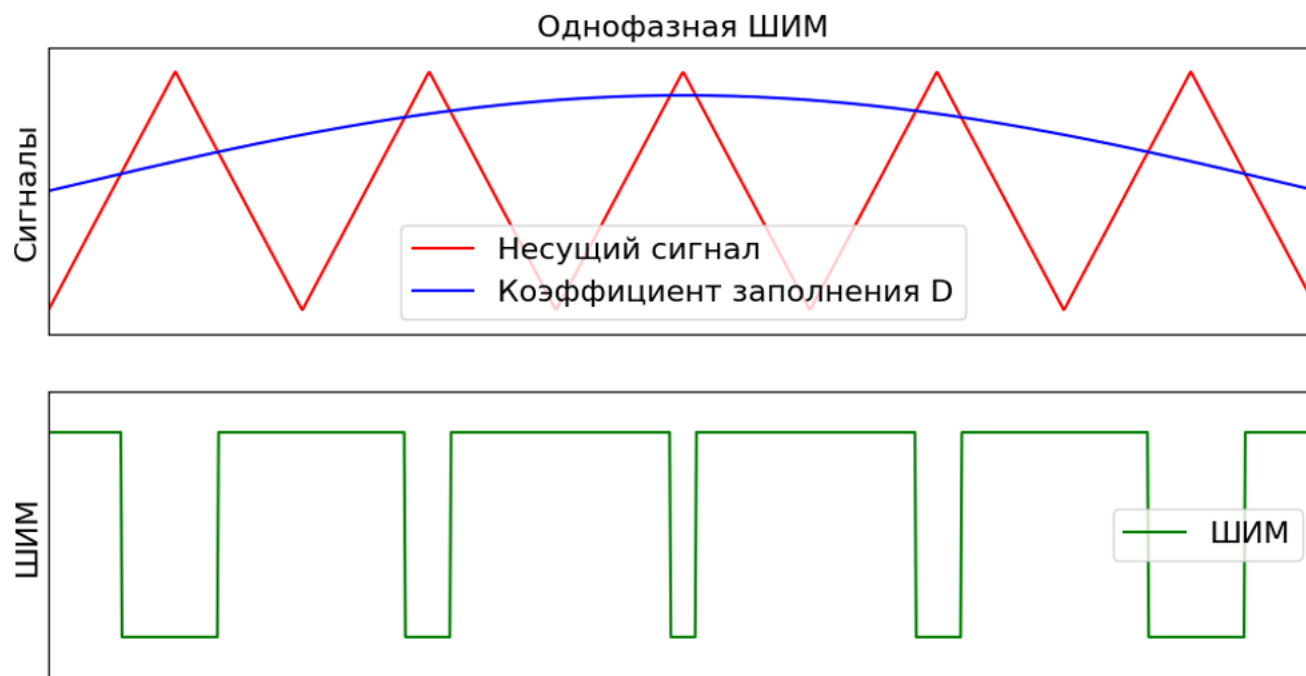
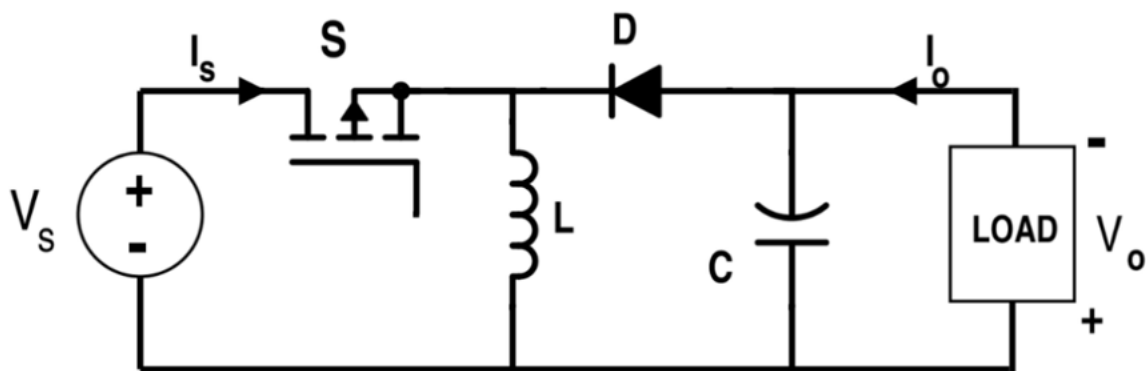


Двухимпульсный мультиплексор

Моделирование элементов силовой электроники

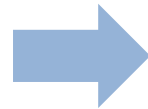
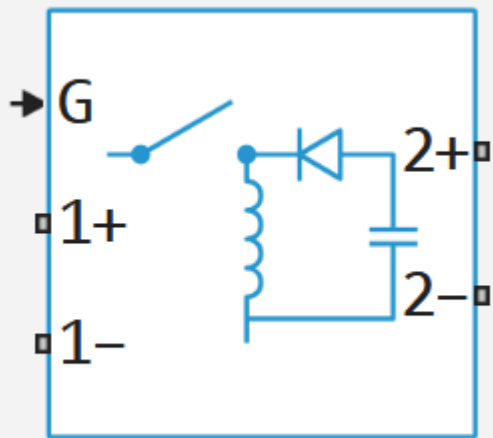
Пример №1:

Инвертирующий DC/DC преобразователь.



Моделирование элементов силовой электроники

Повышающе-понижающий преобразователь



▼ Тип переключателя

Тип порта управления

Скалярный порт управления ▼

Тип переключателя

Идеальный полупроводниковый переключатель ▼

Сопротивление во включенном состоянии

Проводимость в закрытом состоянии

Пороговое напряжение

GTO

✓ Идеальный полупроводниковый ...

IGBT

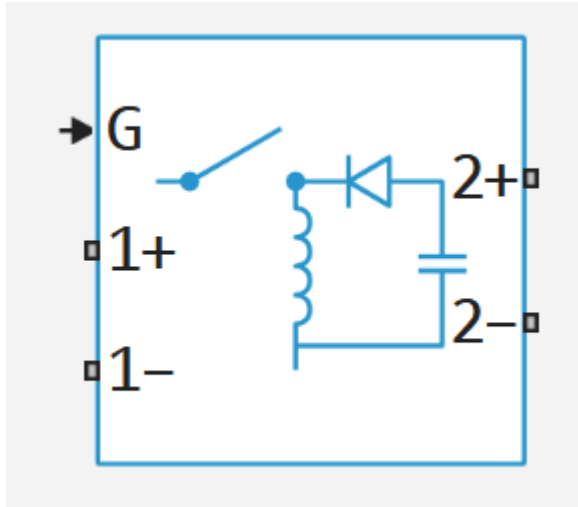
MOSFET

Тиристор

Усредненный переключатель

Полная модель

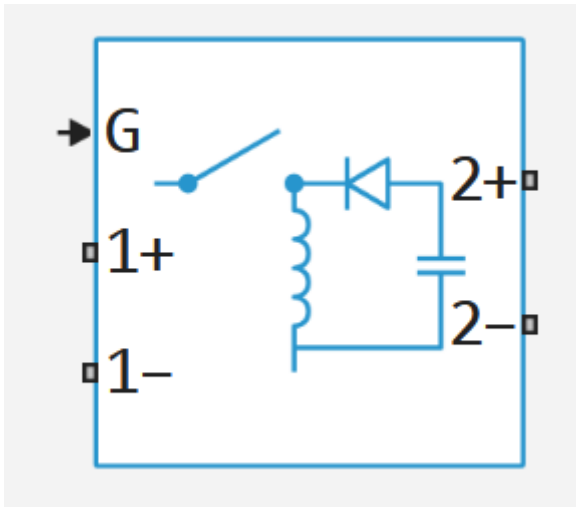
Полная модель силового преобразователя



- Простота использования в модели (нет дополнительного инжиниринга)
 - Прием ШИМ
 - Учет параметров элементов электроники
-
- Максимальный шаг расчета до 30 - 35 мкс
 - При работе на «больших» шагах расчета вызывает излишние искажения формы тока

Усредненная модель

Усредненная
модель силового
преобразователя



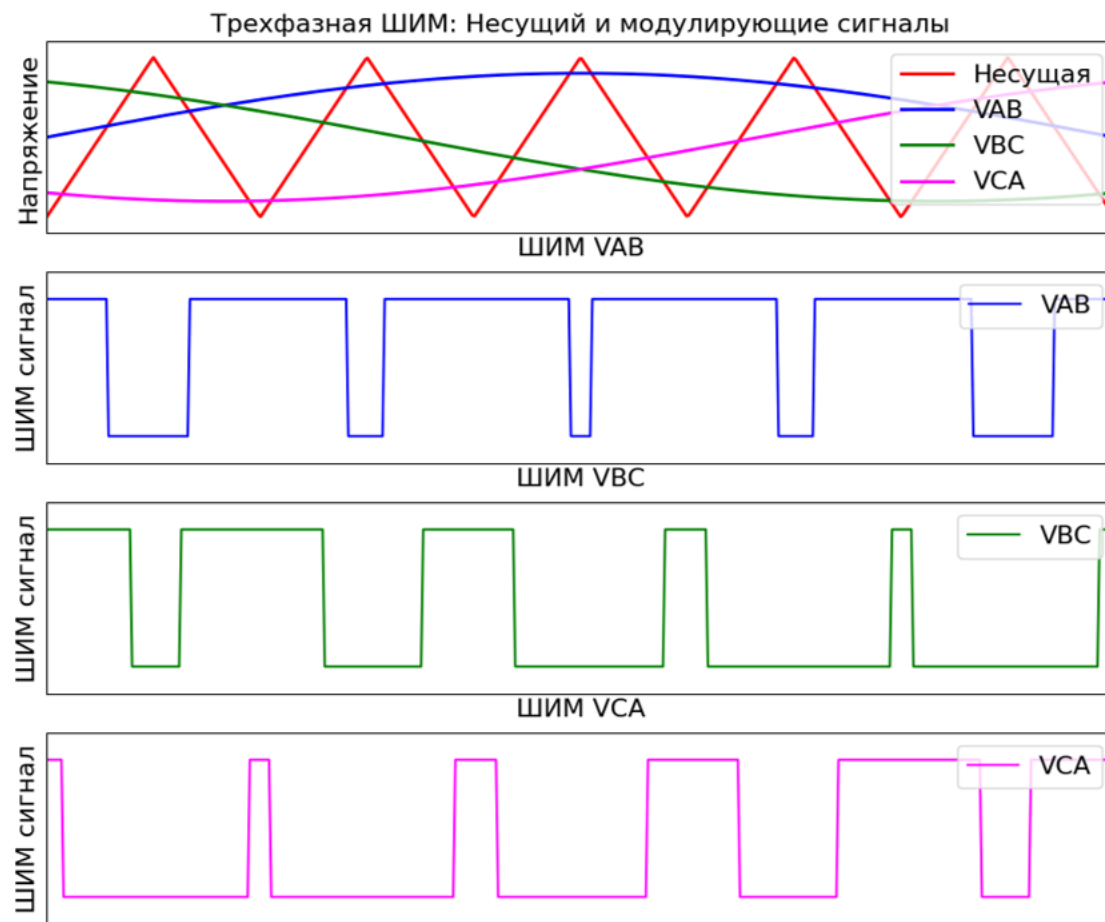
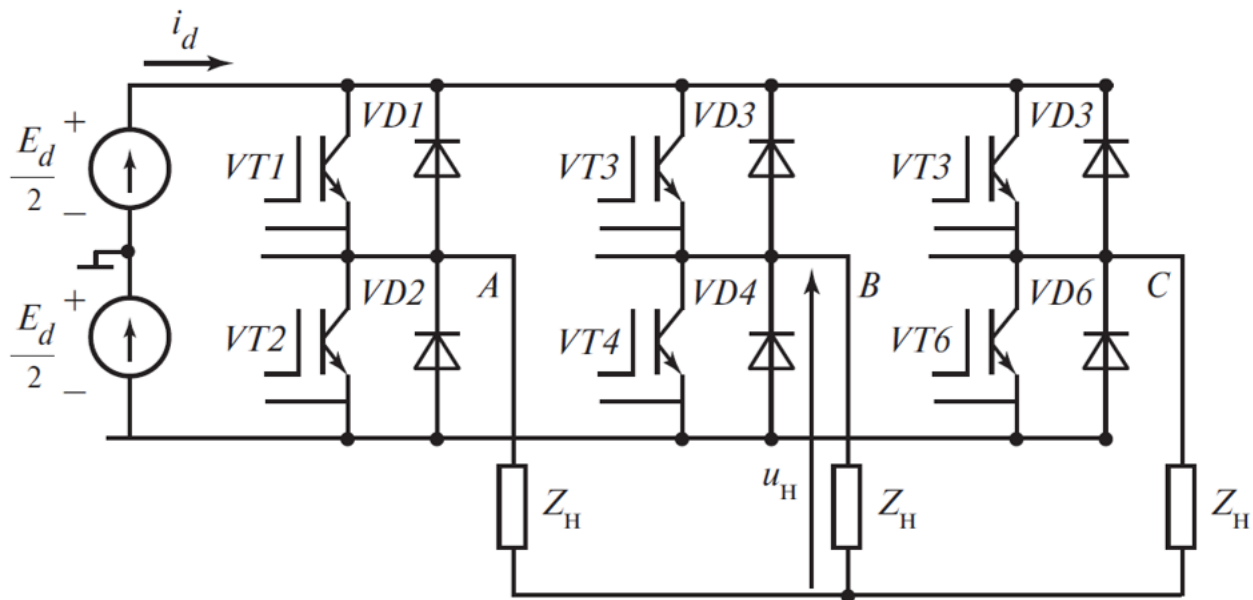
- Возможность работы на шаге расчета свыше 200 мкс
- Быстрая работы блока
- Подходит для быстрого тестирования алгоритмов систем управления

- Принимает только опорные синусоиды вместо ШИМ
- Не моделирует гармоники
- Не учитывает параметры элементов электроники

Моделирование элементов силовой электроники

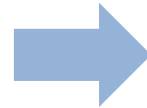
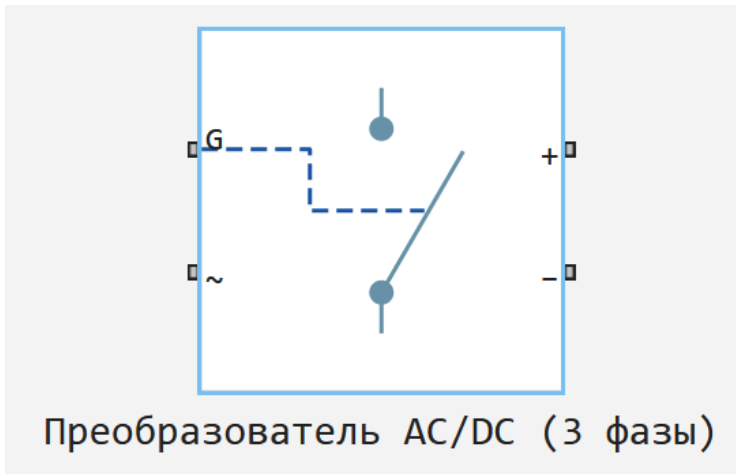
Пример №2:

Трёхфазный AC/DC преобразователь.



Моделирование элементов силовой электроники

AC/DC преобразователь



▼ Тип переключателей

Тип переключателей

Сопротивление во включенном состоянии

Проводимость в выключенном состоянии

Пороговое напряжение

Идеальный полупроводниковый переключатель ▼

GTO

✓ Идеальный полупроводниковый перекл...

IGBT

MOSFET

Тиристор

Усредненный переключатель

Тестирование солнечного инвертора

Требования ГОСТ Р 70787 – 2023:

- Скорость изменение активной мощности не менее 100% в минуту;
- Изменение частоты электрического тока от 46 до 55 Гц;
- Изменение напряжение от 0,77 от номинального до максимального допустимого;
- Синхронизация при отклонениях частоты и напряжения;
- Выдача максимальной и минимальной реактивной мощности;
- Регулирование заданного напряжения;
- Участие в общем первичном регулировании частоты;
- Устойчивая работа при нормативных возмущениях.

Итог

- Выбор детализации моделей силовой электроники;
- Учет тепловых процессов;
- Различные техники моделирования DC/DC и AC/DC преобразователей;
- Использование усреднённых преобразователей для тестирования инвертора.

tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



@EXPONENTA_ENERGY

Спасибо за внимание!
Задавайте Ваши вопросы