

Силовая электроника в Engee

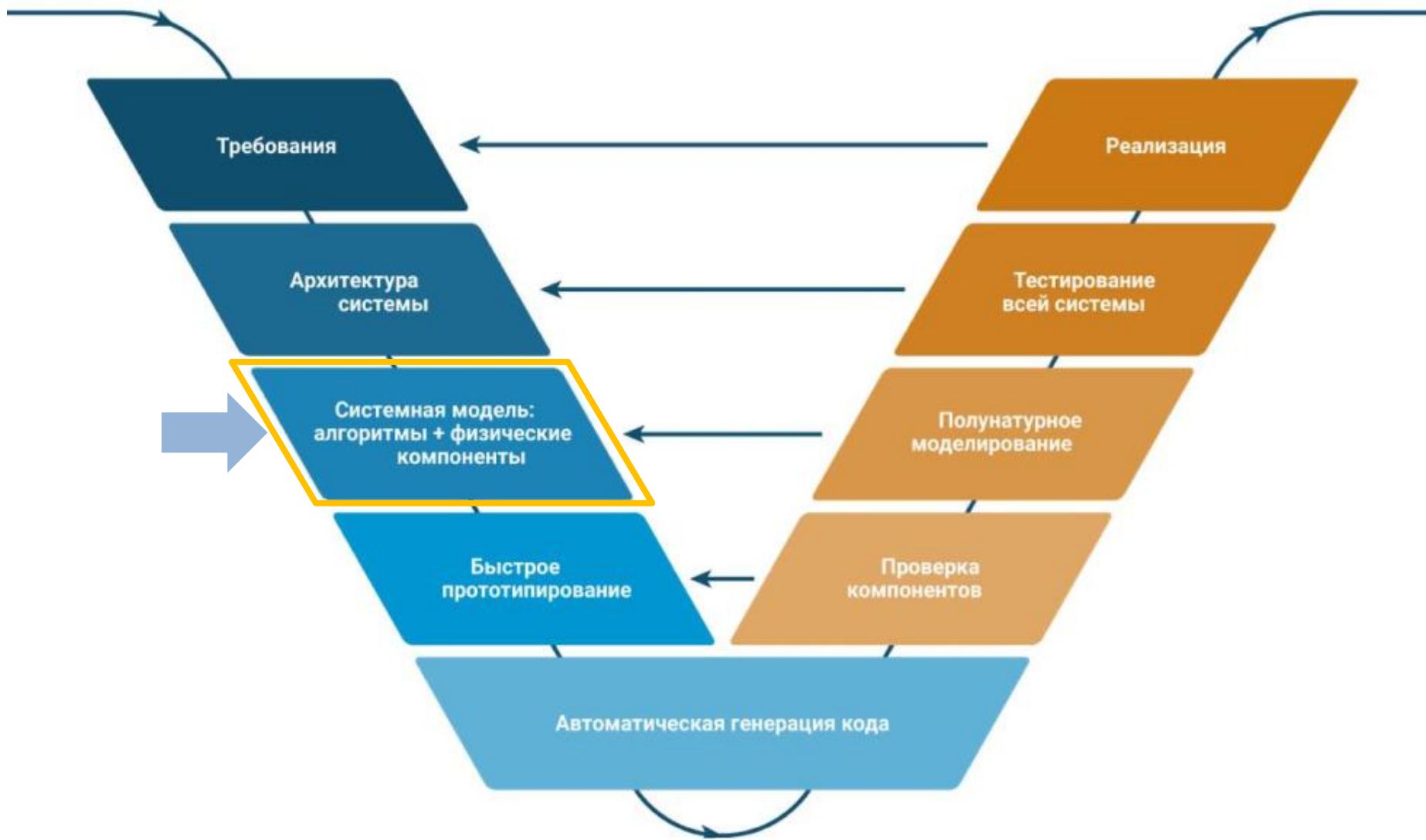
Илья Бердышев

Лаборатория ЦМвЭЭ ЦИТМ «Экспонента»

План вебинара

- Возможности Engee 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



Engee: моделирование алгоритмов управления и логики

Логические операции и Конечные автоматы

▼ Конечные автоматы



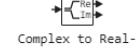
▼ Логические и битовые



Математические вычисления

Широкий набор для вычислений и ЦОС

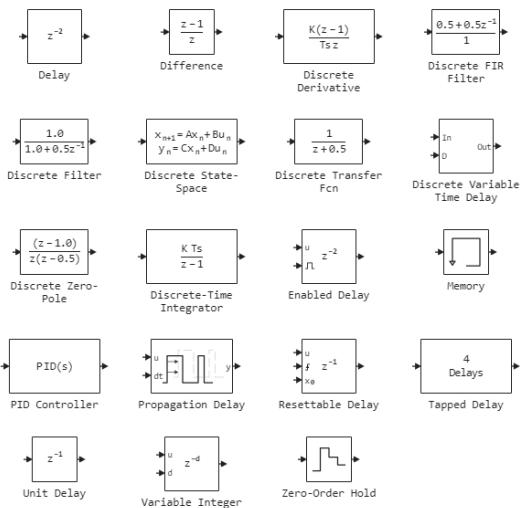
▼ Математика



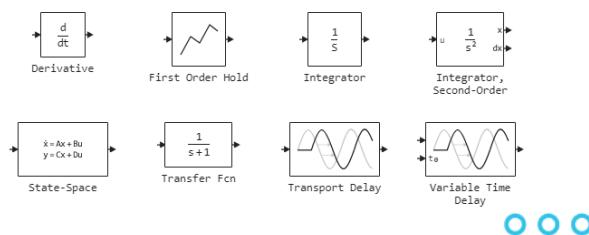
Гибридные системы

Дискретные и непрерывные

▼ Дискретные



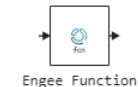
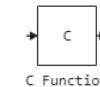
▼ Непрерывные



Пользовательские блоки

Интеграция кода С и пользовательского кода

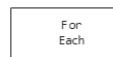
▼ Пользовательские функции



Архитектура моделей

Подсистемы, циклы, условные конструкции

▼ Подсистемы

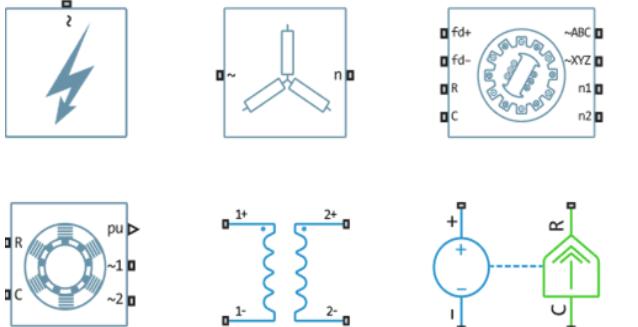


И многое другое...

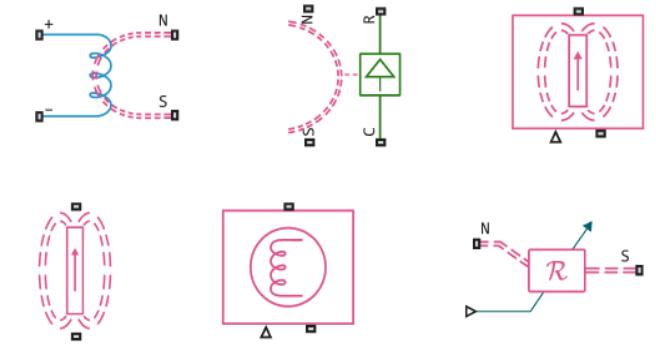


Engee: моделирование «физики»

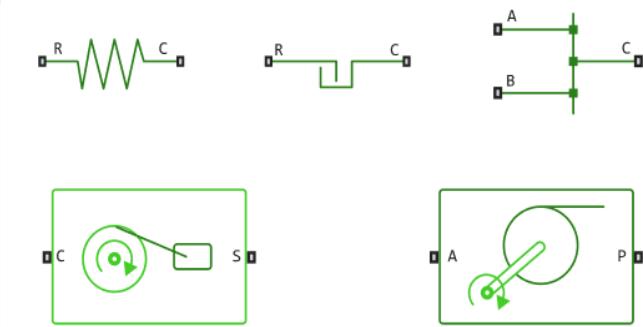
Электричество



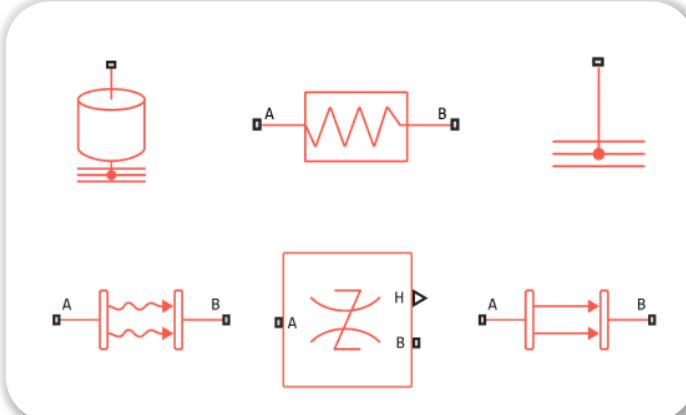
Магнетизм



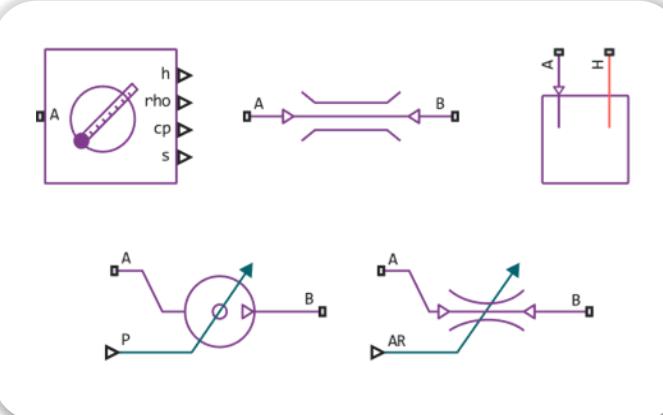
Механика



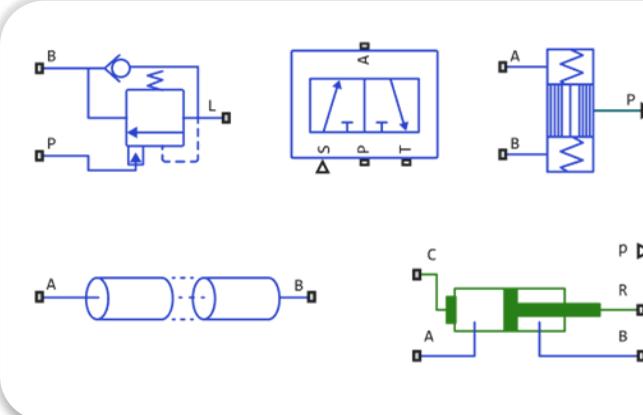
Теплотехника



Газ



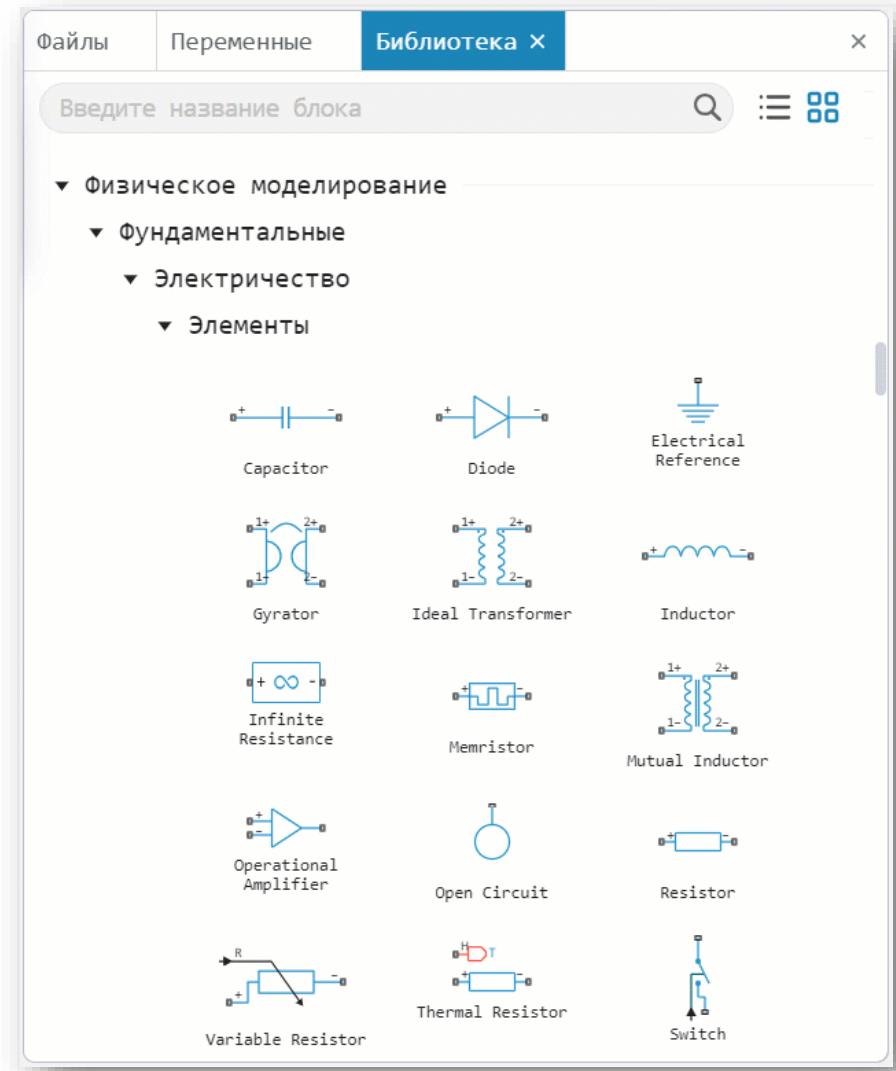
Гидравлика



Блоки электроэнергетических элементов

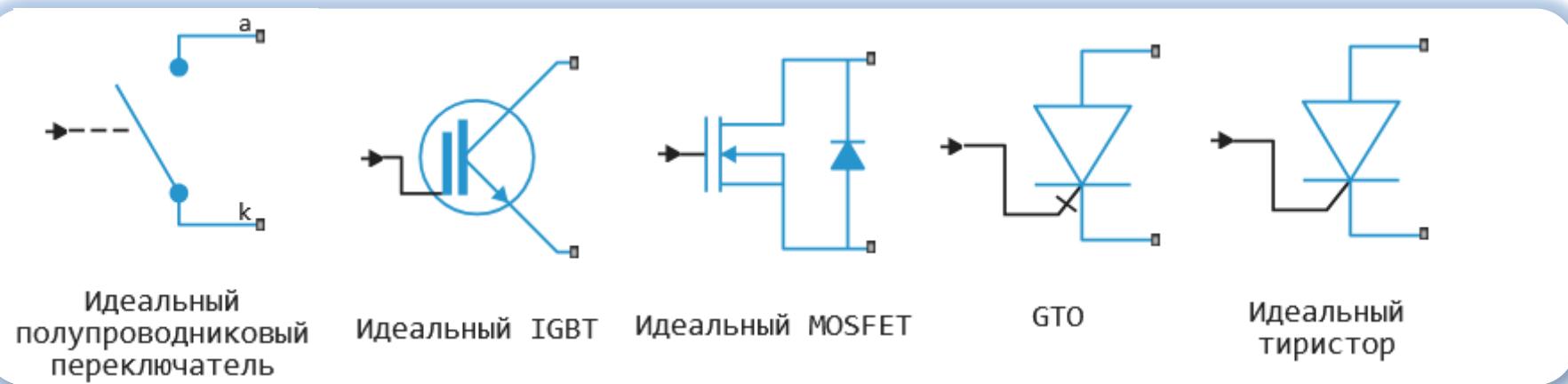
Что можно моделировать:

- ✓ 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

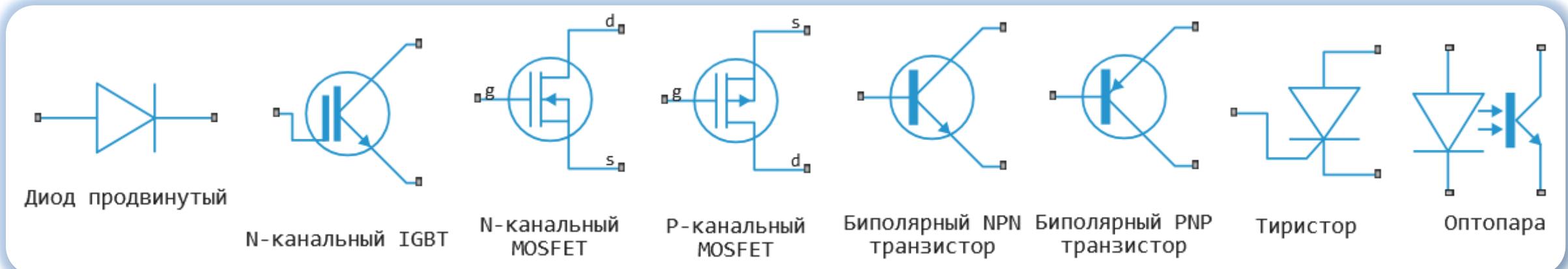


Силовая электроника в Engie

Идеальные полупроводники

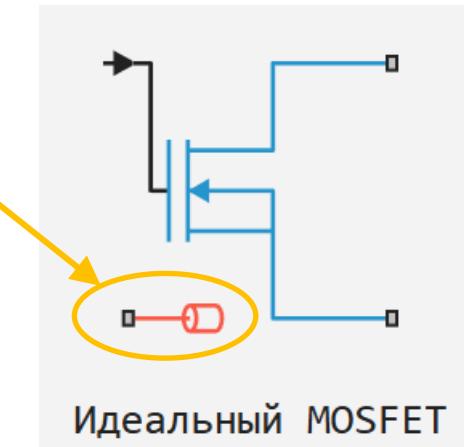


Продвинутые полупроводники



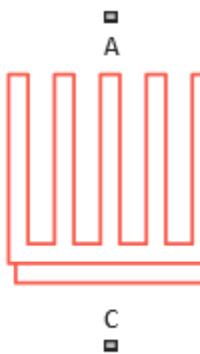
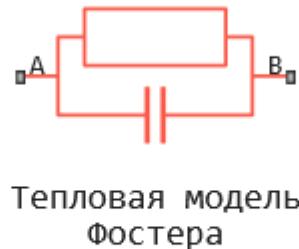
Силовая электроника в Engee

Тепловые модели полупроводников



▼ Термальный порт
Термальный порт

Внешние тепловые модели



Радиатор

▼ 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

▼ Термальный порт

Термальный порт



Термовая 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}

К/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]

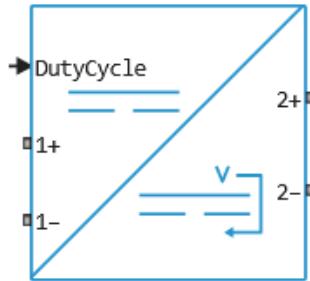
[25.0, 25.0]

Vector{Float64}

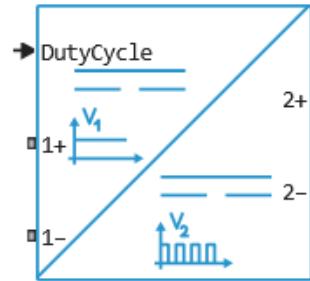
degC

Силовая электроника в Engie

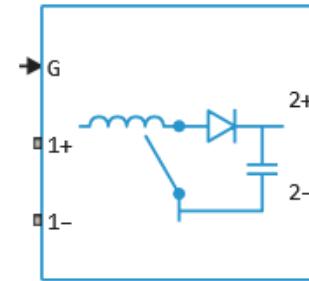
Готовые сборки полупроводников



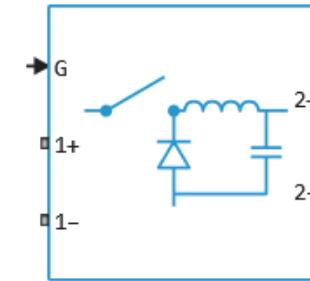
Усреднённый DC-DC
преобразователь



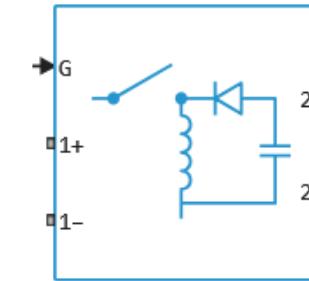
Усреднённый
чоппер



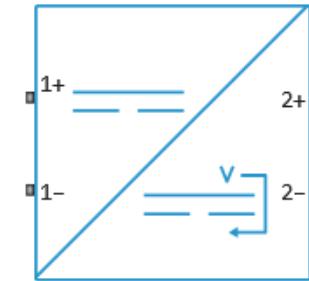
Повышающий
преобразователь



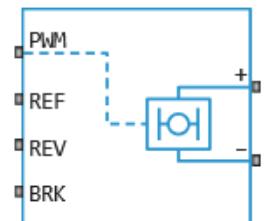
Понижающий
преобразователь



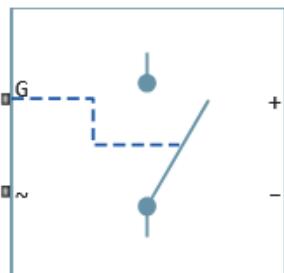
Повышающе-
понижающий
преобразователь



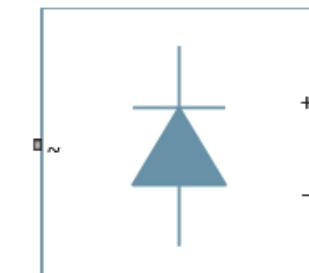
DC-DC
преобразователь



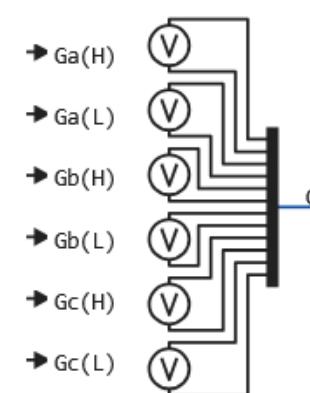
Н-мостовой
драйвер двигателя



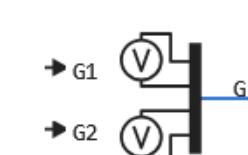
Преобразователь
AC/DC (3 фазы)



Выпрямитель (3
фазы)



Шестипульсный
мультиплексор

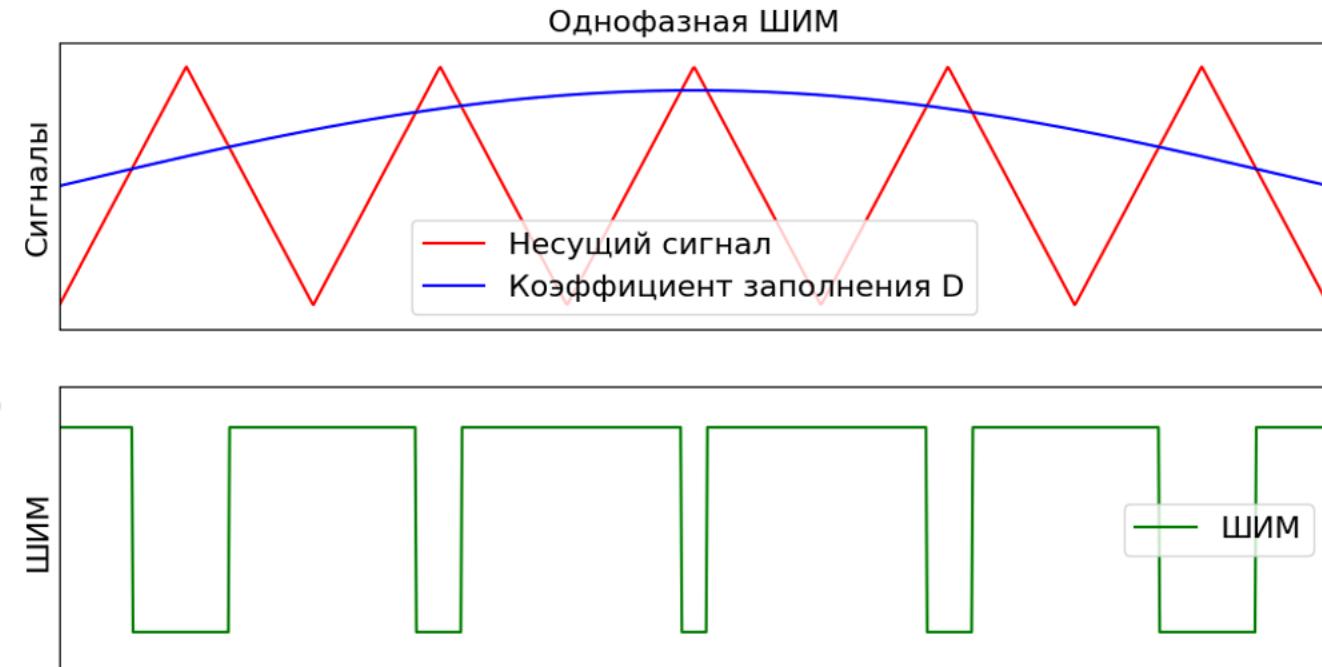
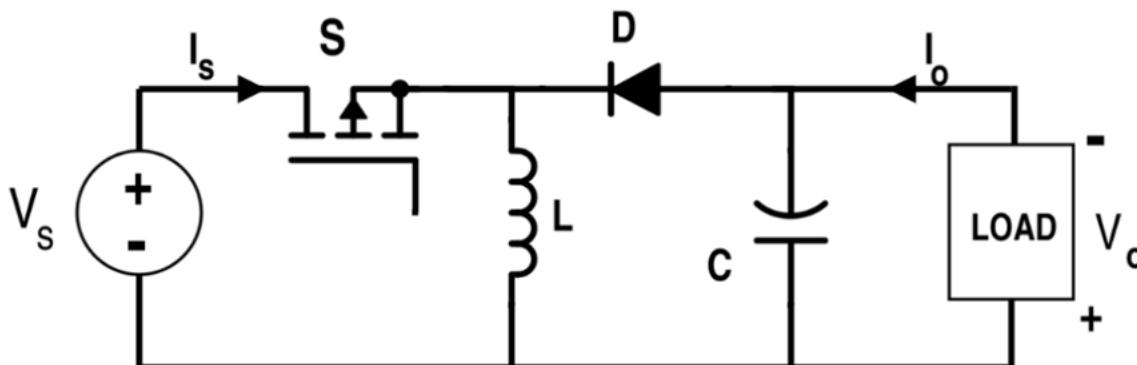


Двухимпульсный
мультиплексор

Моделирование элементов силовой электроники

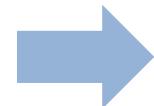
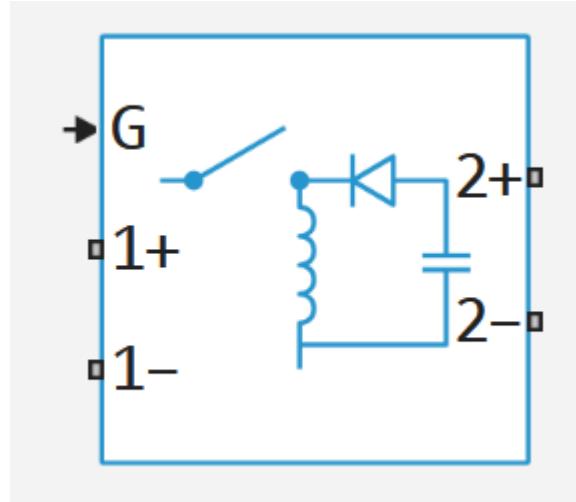
Пример №1:

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

GTO

Проводимость в закрытом
состоянии

✓ Идеальный полупроводниковый ...

Пороговое напряжение

IGBT

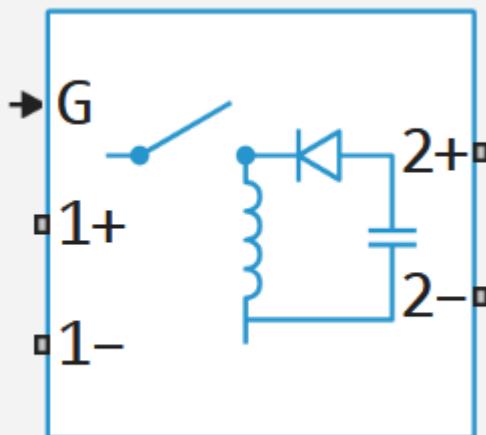
MOSFET

Тиристор

Усредненный переключатель

Полная модель

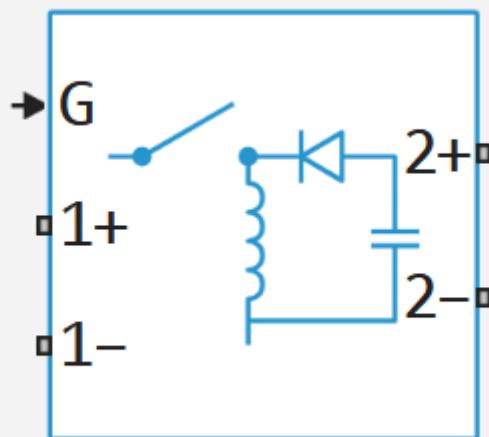
Полная модель силового преобразователя



- 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

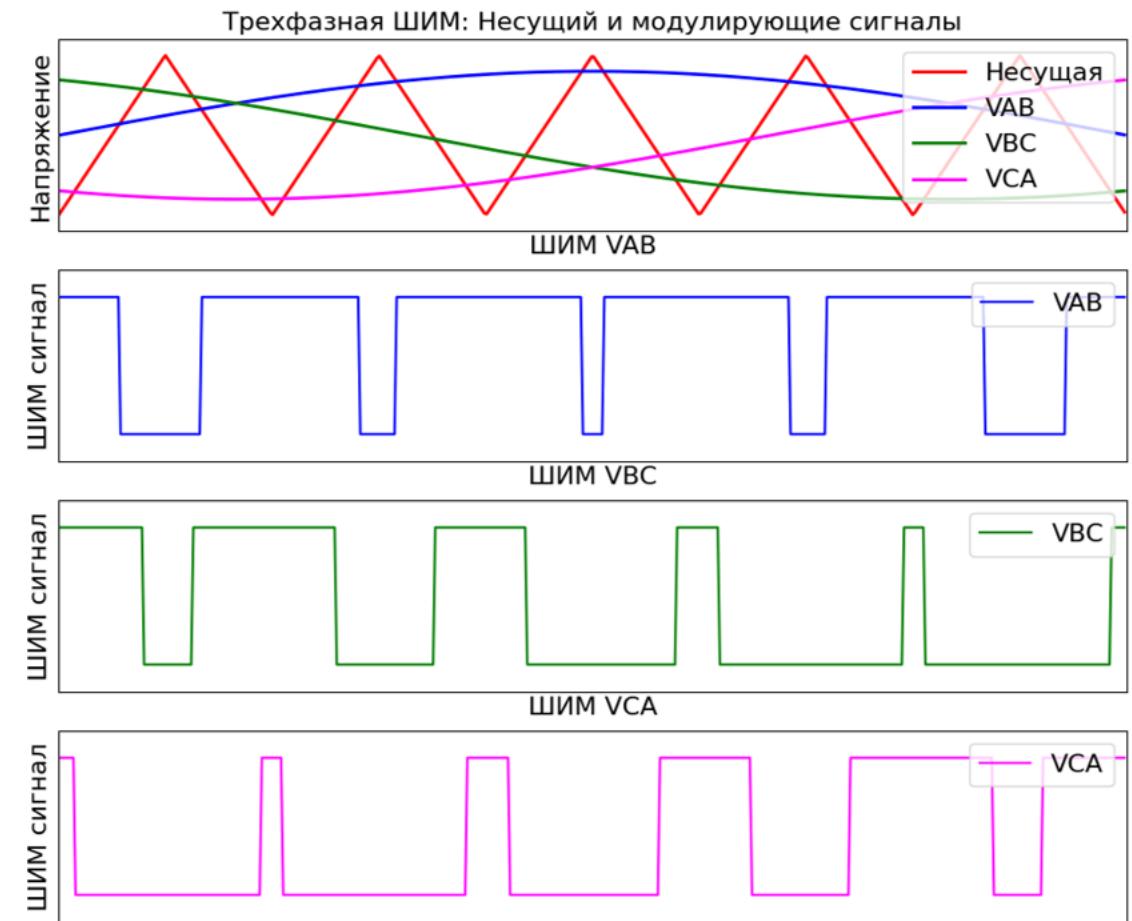
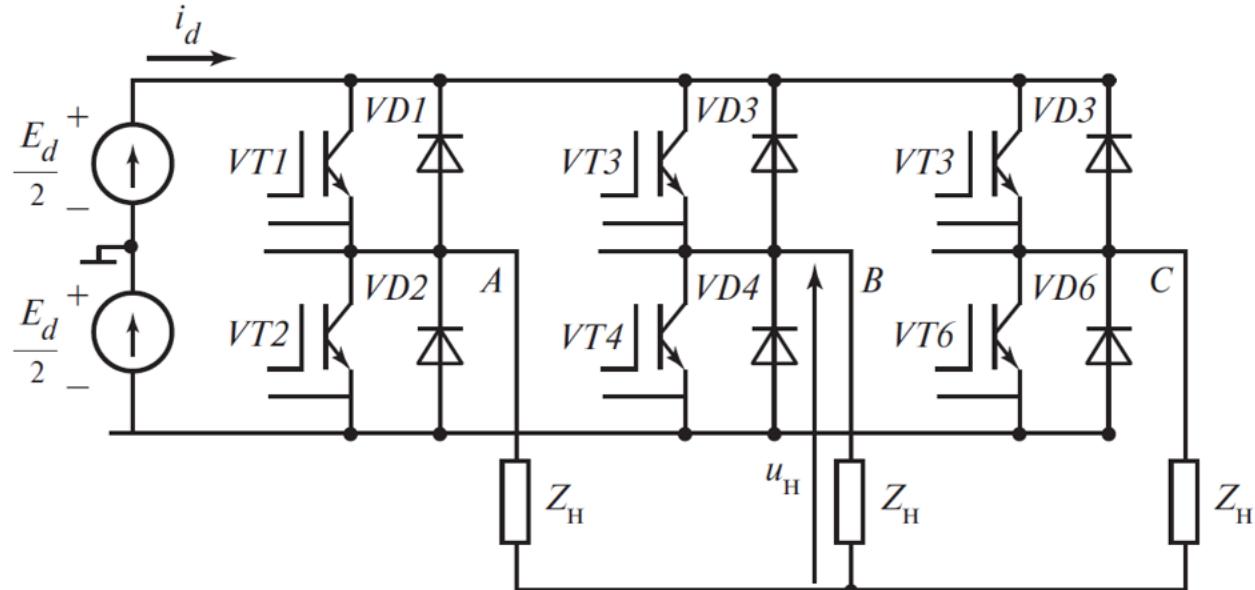


- Возможность работы на шаге расчета свыше 200 мкс
 - Быстрая работы блока
 - Подходит для быстрого тестирования алгоритмов систем управления
-
- Принимает только опорные синусоиды вместо ШИМ
 - Не моделирует гармоники
 - Не учитывает параметры элементов электроники

Моделирование элементов силовой электроники

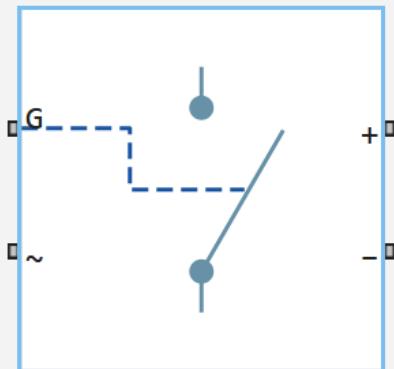
Пример №2:

Трёхфазный AC/DC преобразователь.

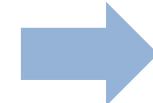


Моделирование элементов силовой электроники

AC/DC преобразователь



Преобразователь AC/DC (3 фазы)



▼ 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



Спасибо за внимание!
Задавайте Ваши вопросы