

# Управление электроприводом



Терминал  
управления



Микроконтроллер



Датчик обратной связи



Инвертор

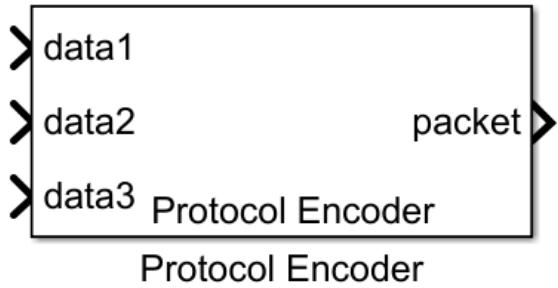


Двигатель

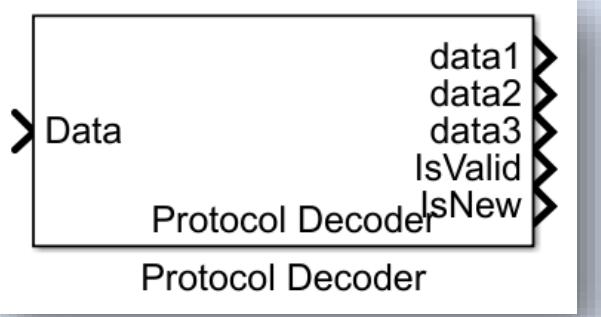
# Передача и прием сообщений

## Автоматическое составление сообщения

### Кодирование

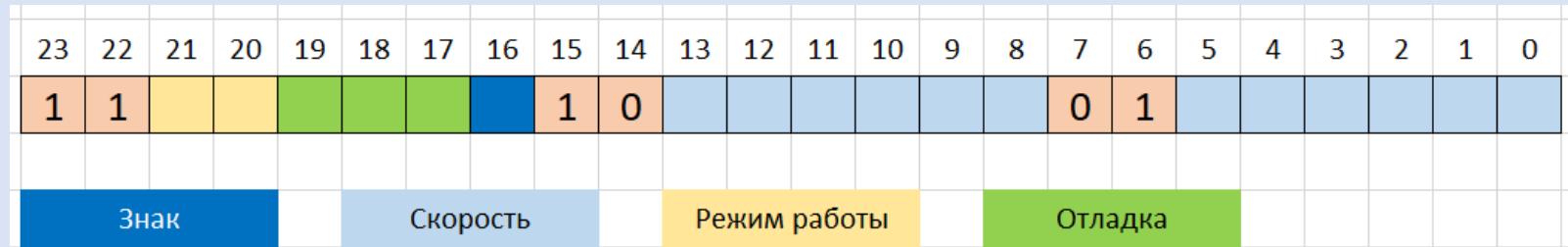


### Декодирование

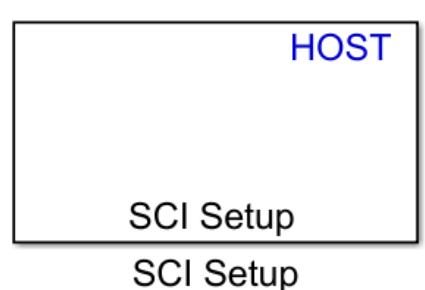


## Ручное составление сообщения

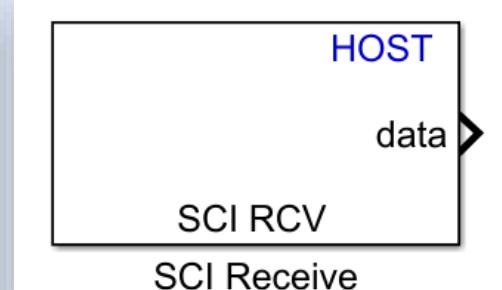
### «Расбитовка» сообщения



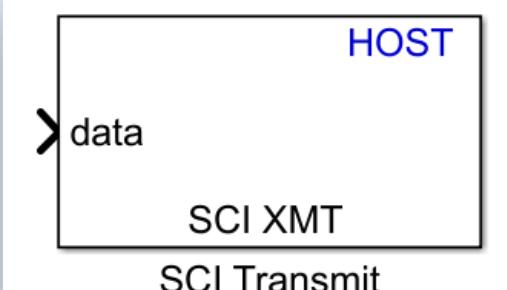
### Настройка SCI канала



### Прием сообщения по SCI каналу



### Передача сообщения по SCI каналу



# Микроконтроллер

## Алгоритмы управления

- В разомкнутом контуре
- Векторное управление
- Скалярное управление
- Продвинутые способы управления
- Настройка регуляторов
- Реализация каскадной системы с несколькими частотами дискретизации

Подробнее

## Алгоритмы определения скорости и положения

- Физические датчики
- Наблюдатели

Подробнее

Подробнее

## Формирование ШИМ

- Типы ШИМ сигналов
- Методы модуляции

Подробнее

## Передача и прием сообщений

- Способы составления сообщений
- Блоки периферии

Подробнее

# Алгоритмы управления

## В разомкнутом контуре

- Без датчика скорости и положения
- Без регуляторов
- Разгон двигателя перед переходом в режим замкнутого управления
- Большие фазные токи

Подробнее

## Векторное управление

- Многоконтурная система управления
- ПИ-регуляторы
- Определение скорости и положения ротора с помощью датчика или наблюдателей



Подробнее

## Скалярное управление

Управление в замкнутом контуре с датчиками Холла

Подробнее

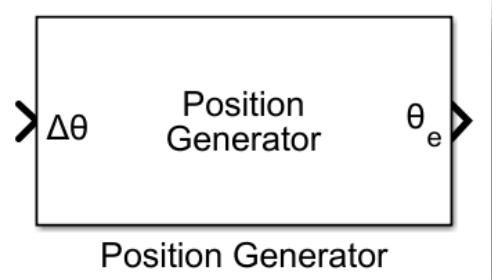
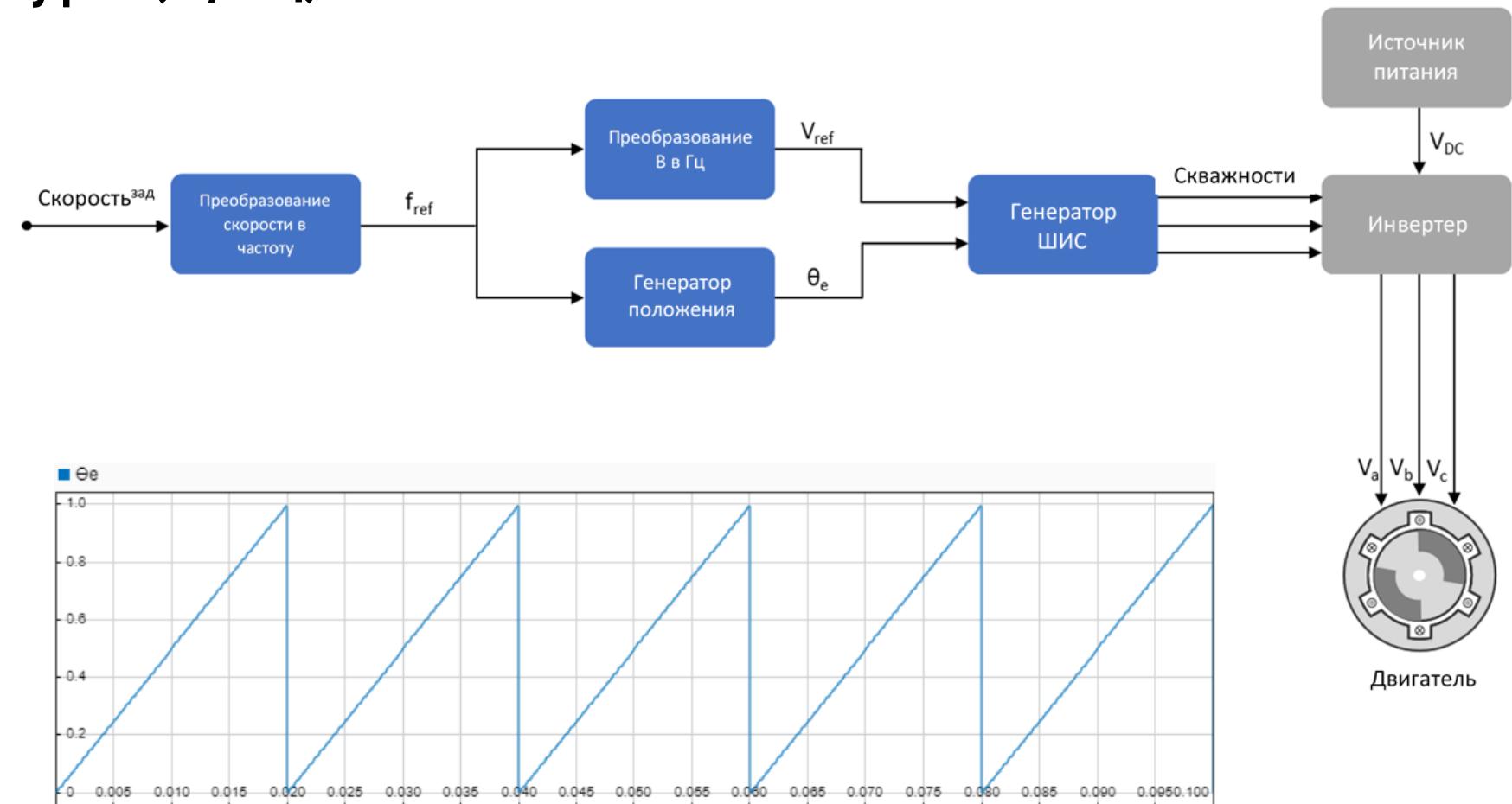
## Продвинутые способы управления

- Direct Torque Control
- MTPA with field-weakening

Подробнее

# Алгоритмы управления

## В разомкнутом контуре (В/Гц)



Подробнее

# Алгоритмы управления

## Векторное управление

Математические  
операции

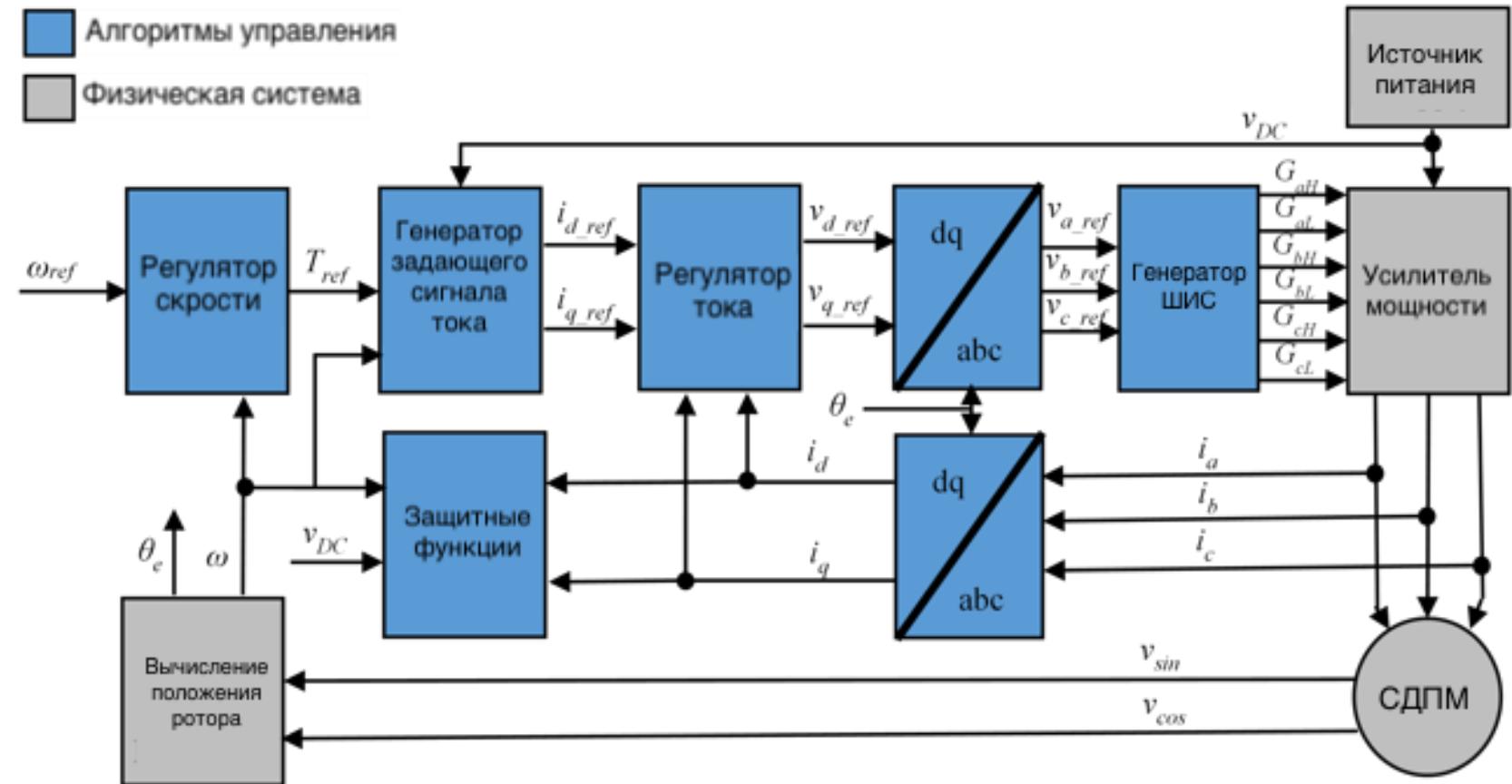
Блоки для кодогенерации

Блоки для моделирования

Контроллеры

- Дискретные
- Непрерывные

Алгоритмы управления  
Физическая система

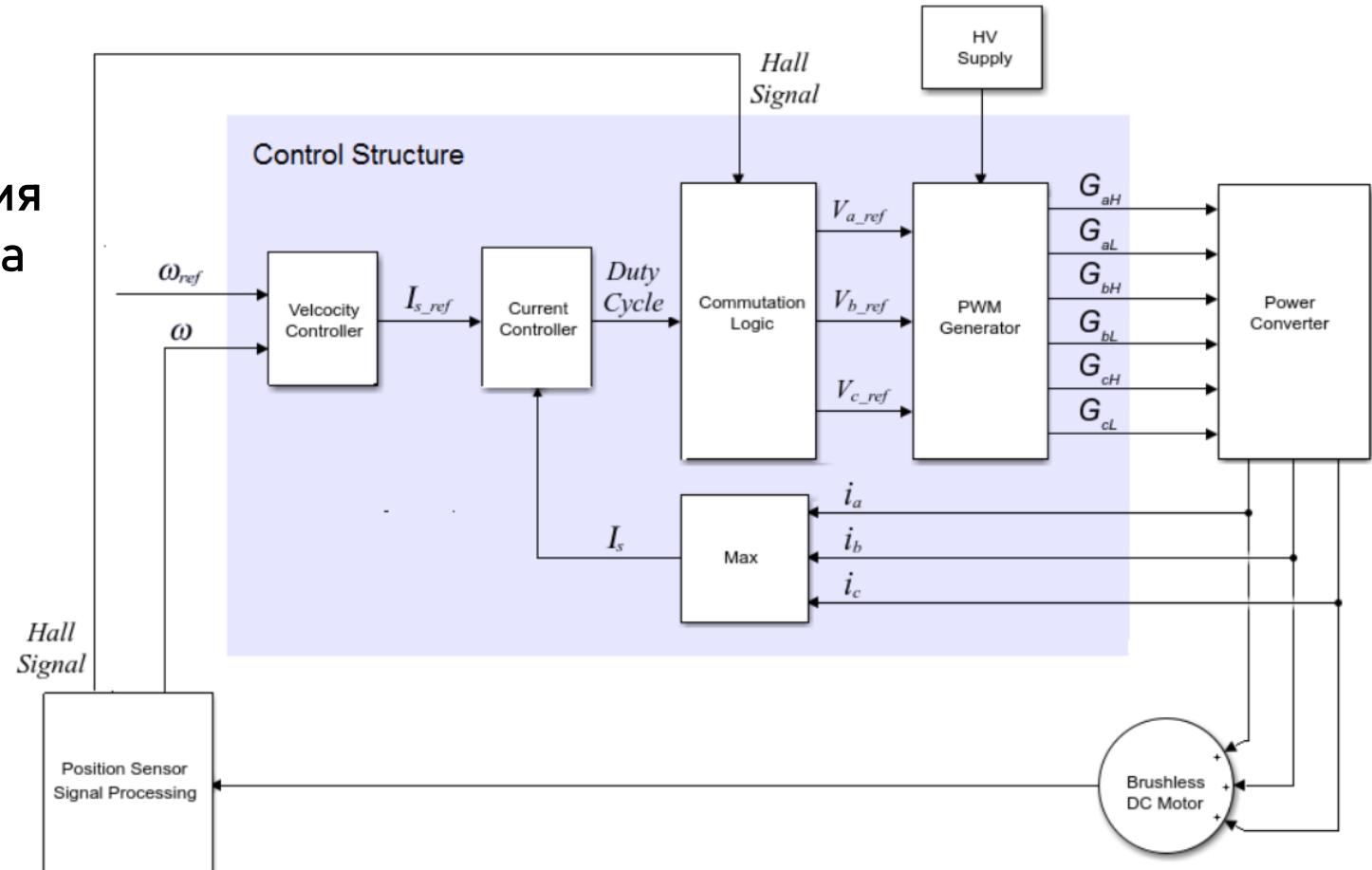
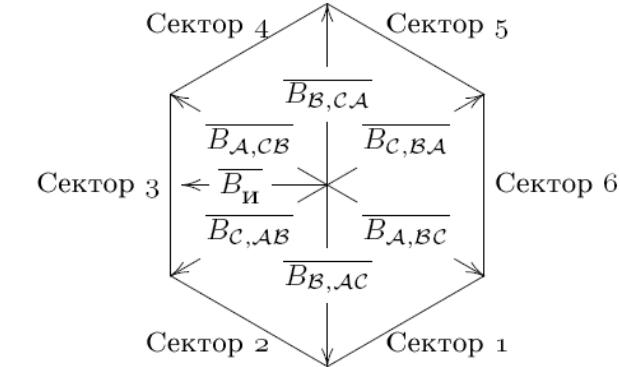
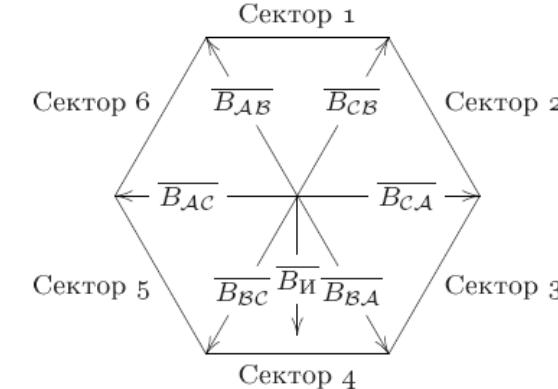
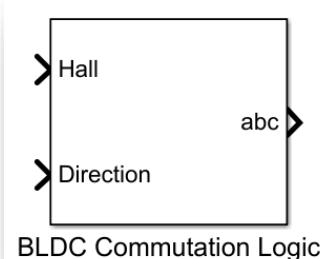
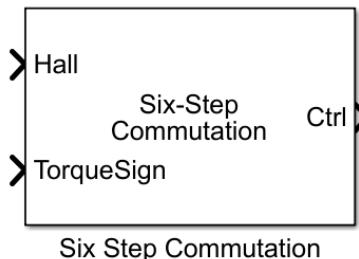


# Алгоритмы управления

## Скалярное управление

- Определение сектора, в котором находится вектор потокосцепления ротора
- Большое количество способов коммутации ключевых элементов
- 120-, 150-, 180-градусная коммутация
- Пульсации угловой скорости ротора

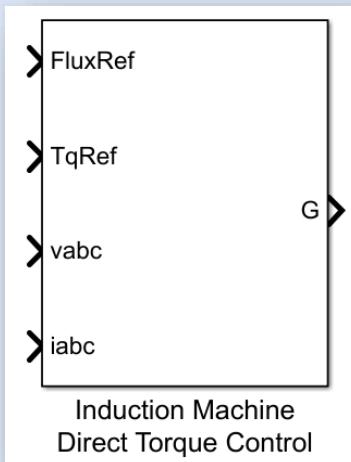
Кодогенерация      Моделирование



# Продвинутые алгоритмы управления

## Direct Torque Control

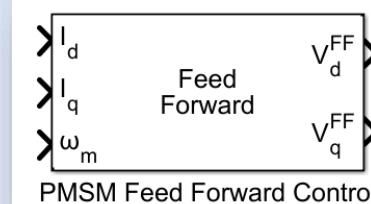
- Без ПИ-регуляторов контура тока
- Без тригонометрических преобразований
- Низкие потери на переключения ключей
- Высокая частота работы вычислителя
- Высокоточные датчики тока



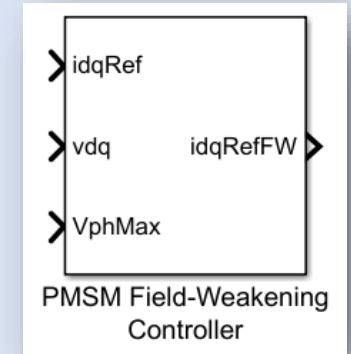
## MTPA with field-weakening

- Разгон выше номинальной скорости
- Увеличение КПД двигателя
- Сложная система управления
- Нелинейная зависимость момента от тока

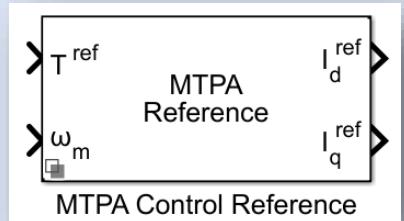
Подробнее



PMSM Feed Forward Control



PMSM Field-Weakening Controller



MTPA Control Reference

# Настройка регуляторов

## Аналитические формулы

- Полный контроль над процессом настройки
- Сложно учесть частоты дискретизации контуров
- Настройка с помощью различных характеристик динамики

Неточно

## Готовая функция

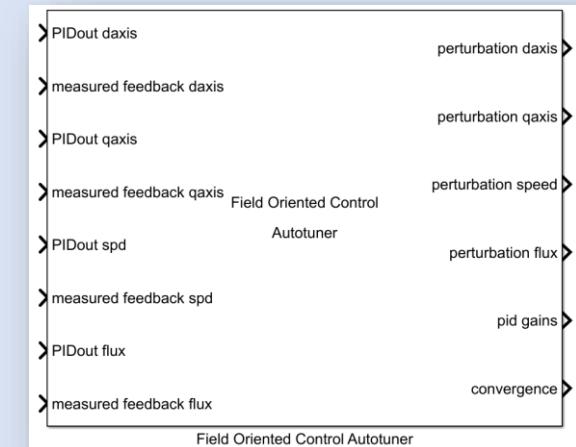
- Учет частот дискретизации контуров
- Учет задержек при обработке сигналов с датчика обратной связи
- Настройка на оптимумы

Посмотреть

Точнее

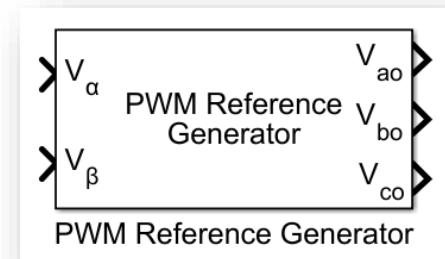
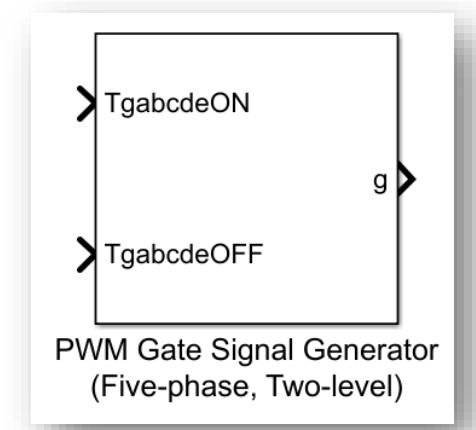
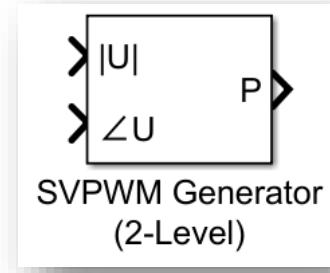
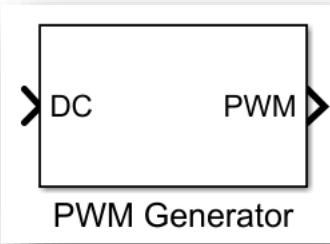
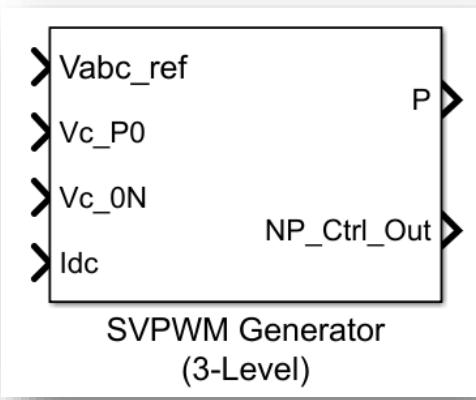
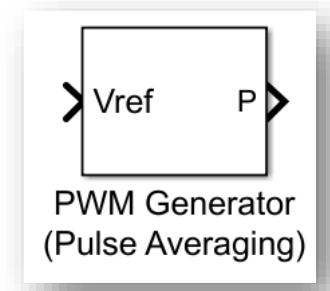
## Блок автонастройки

- Метод гармонического анализа
- Настройка системы с несколькими контурами



Точно

# Формирование ШИМ

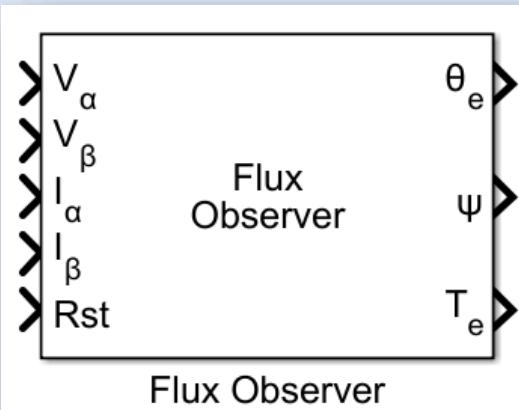


Все блоки

# Алгоритмы косвенного определения скорости

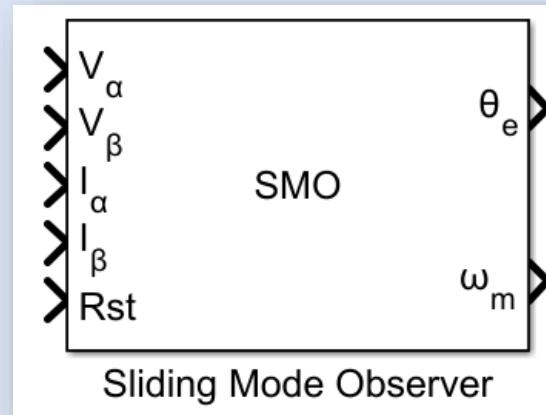
## Наблюдатель потока

- Требуется фильтр высоких частот
- Настройка с помощью одного параметра

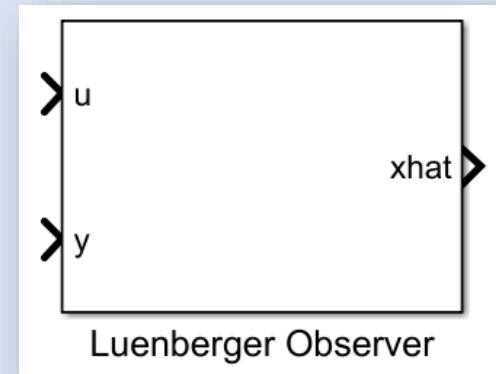
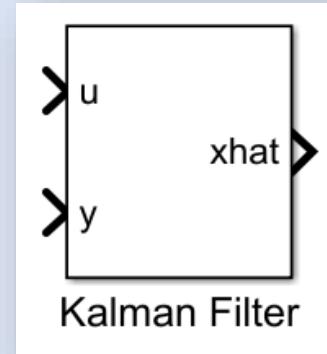


## Наблюдатель скользящего режима

- Не требуется фильтр высоких частот
- Настройка с помощью трех параметров

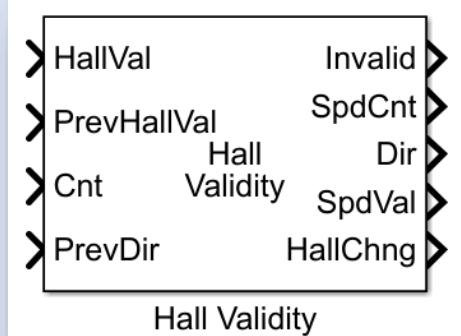
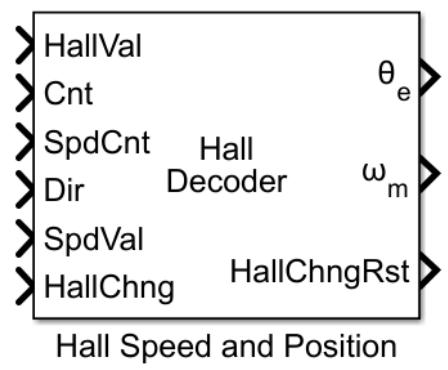


## Остальные наблюдатели



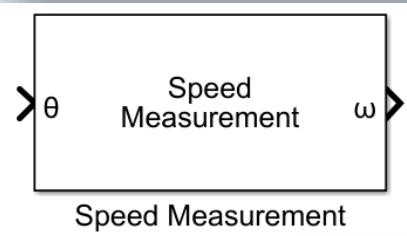
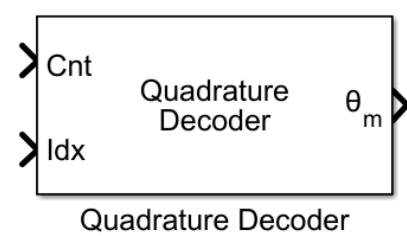
# Обработка сигналов с датчиков обратной связи

## Датчики Холла

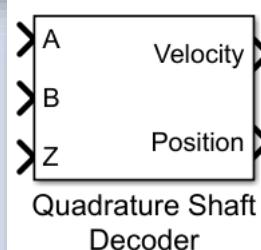


## Инкрементальный энкодер

### Кодогенерация

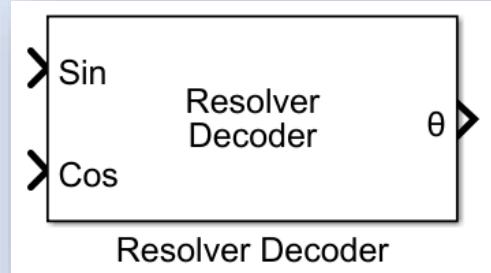


### Моделирование

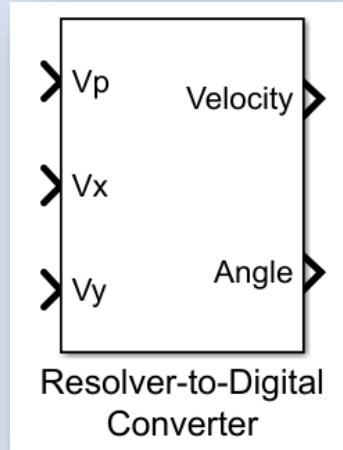


## Резольвер

### Кодогенерация

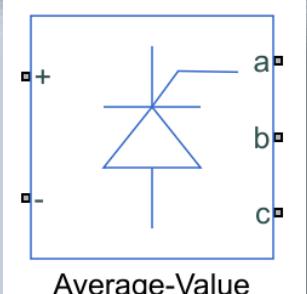
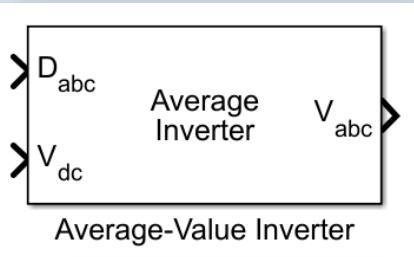


### Моделирование



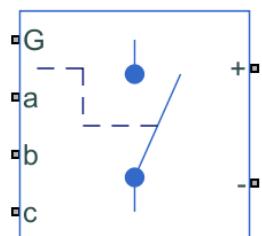
# Инвертор

## Упрощенный компонент

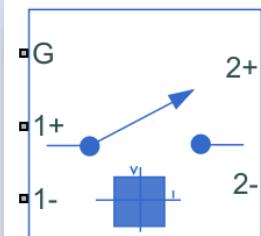


Быстрая проверка  
работы схемы

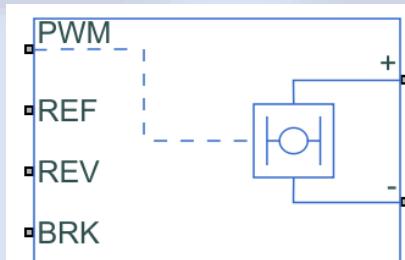
## Готовые блоки



Converter  
(Three-Phase)



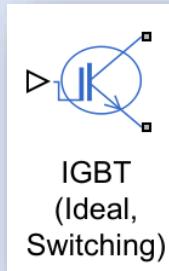
Four-Quadrant  
Chopper



H-Bridge

Решение прикладных задач

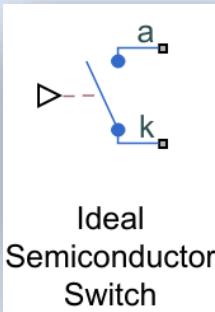
## Отдельные элементы



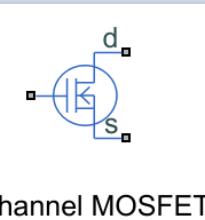
IGBT  
(Ideal,  
Switching)



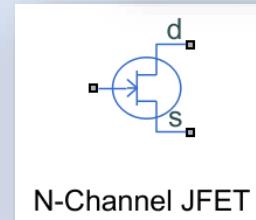
N-Channel IGBT



Ideal  
Semiconductor  
Switch



N-Channel MOSFET

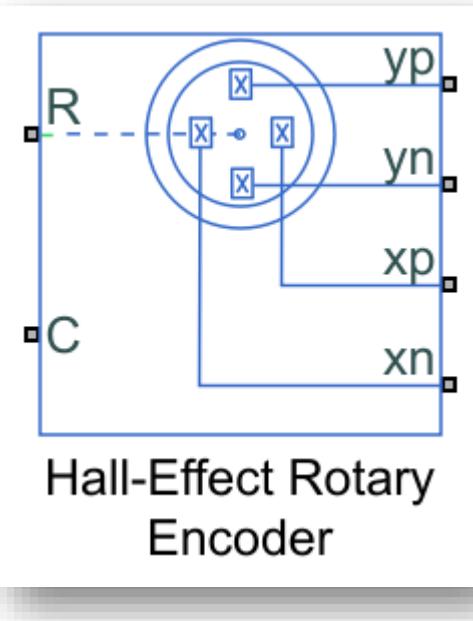


N-Channel JFET

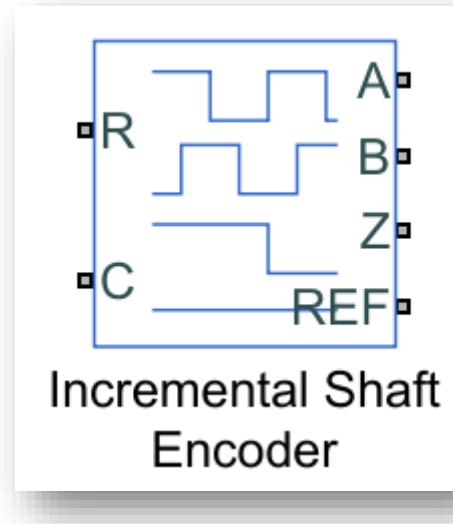
## Все блоки

Очень точно,  
но очень медленно

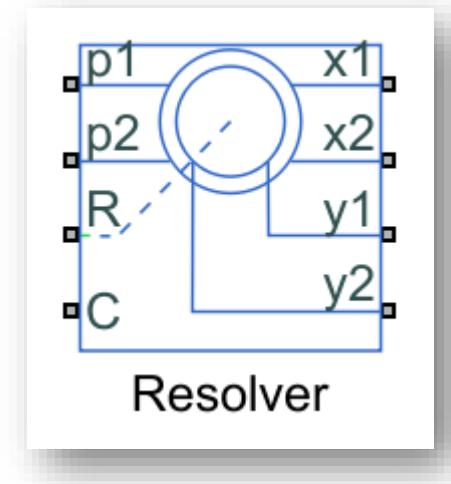
# Датчик обратной связи



Hall-Effect Rotary  
Encoder



Incremental Shaft  
Encoder



Resolver

Алгоритмы косвенного определения скорости  
(наблюдатели)

# Двигатель

## Определение параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами

1. Сопротивление и индуктивность фазных обмоток
2. Коэффициент противо-ЭДС
3. Коэффициенты трения
4. Момент инерции ротора

Подробнее

## Типы двигателей

Асинхронные  
двигатели

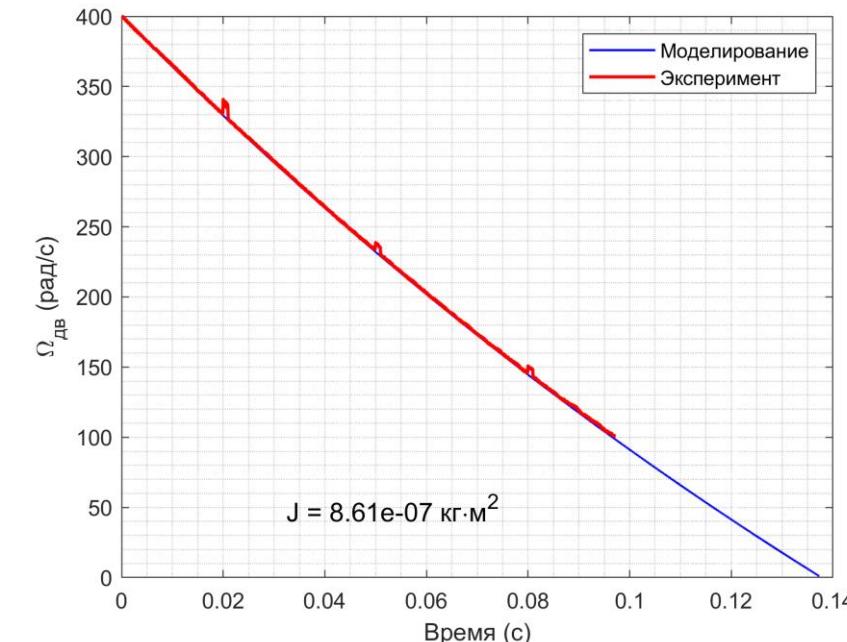
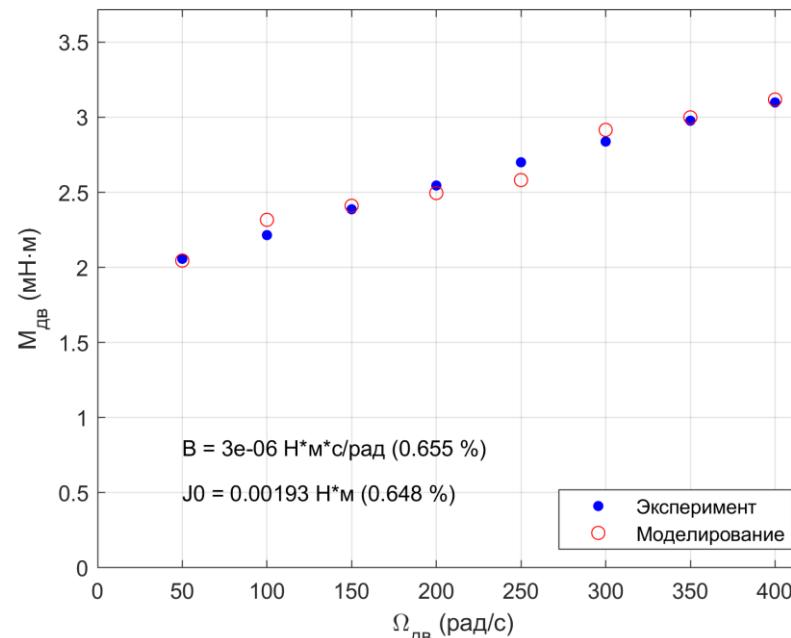
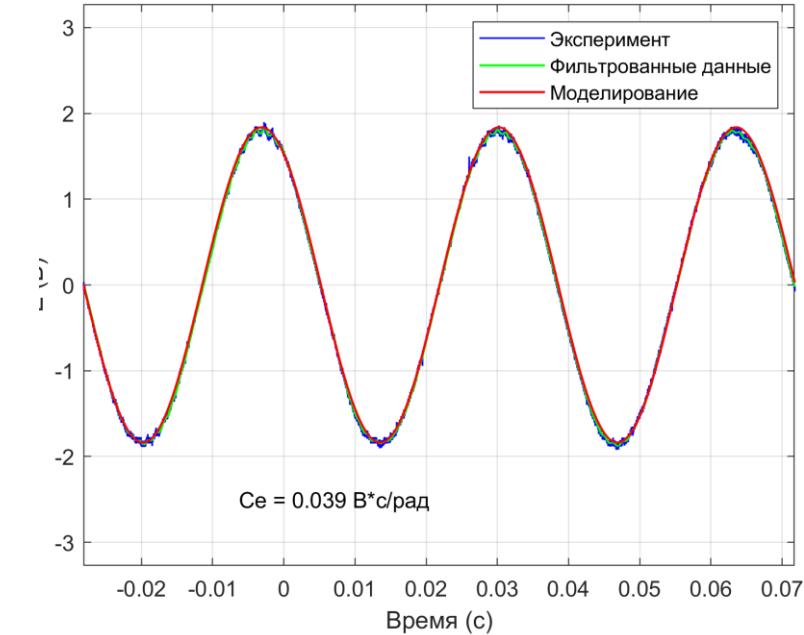
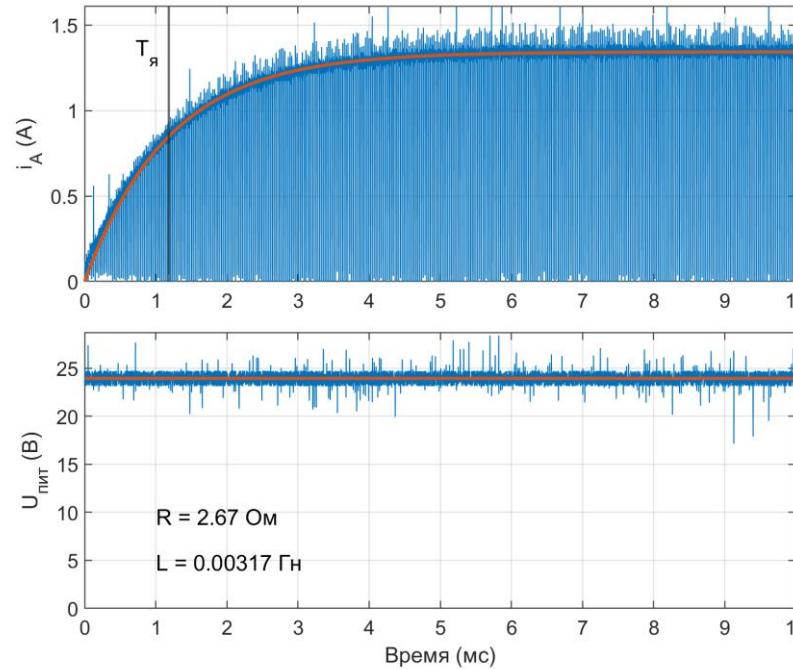
Двигатели  
постоянного тока

Шаговые и вентильные  
реактивные двигатели

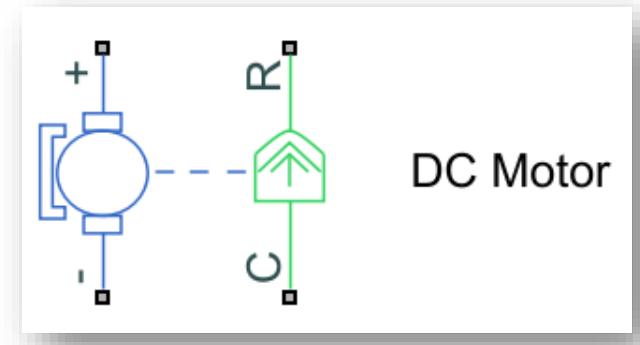
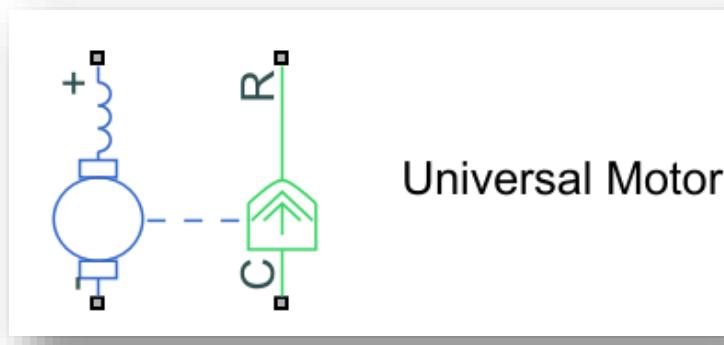
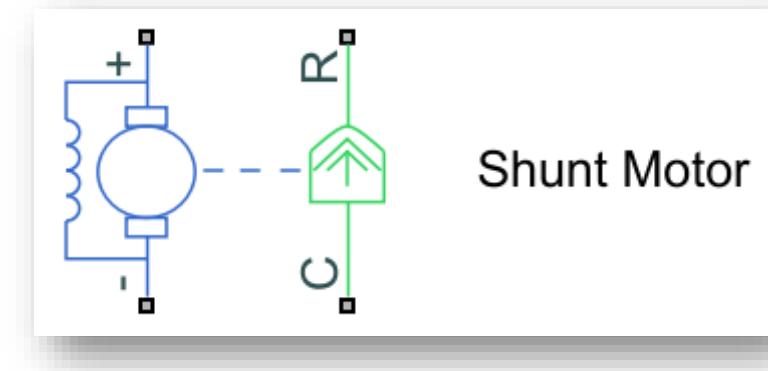
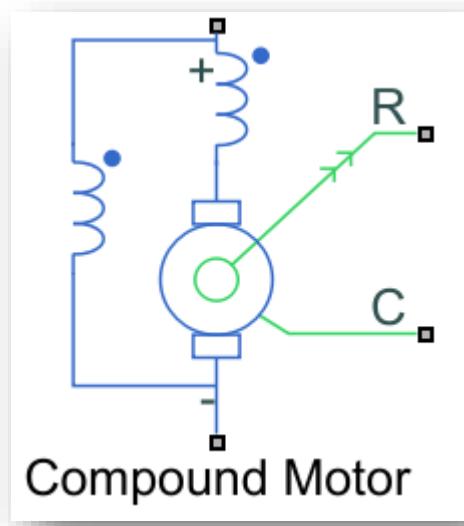
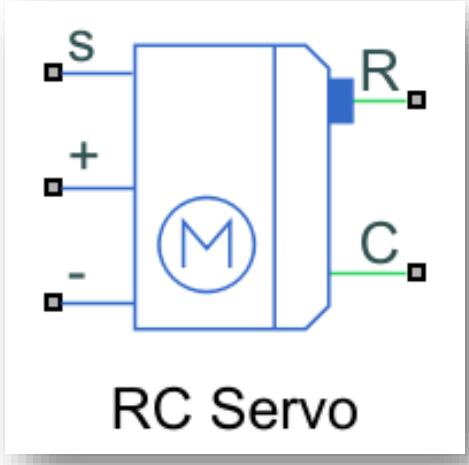
Синхронные двигатели  
с постоянными магнитами

# Определение параметров двигателя

1. Сопротивление и индуктивность фазных обмоток
2. Коэффициент противо-ЭДС
3. Коэффициенты трения
4. Момент инерции ротора

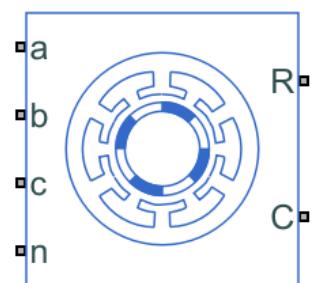


# Двигатели постоянного тока

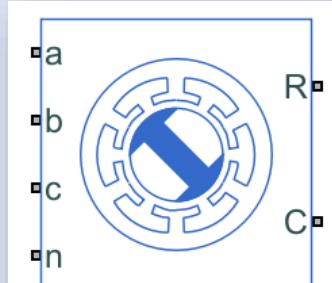


# Синхронные двигатели с постоянными магнитами

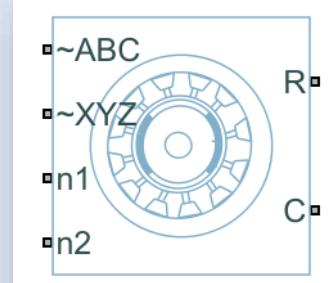
Точно



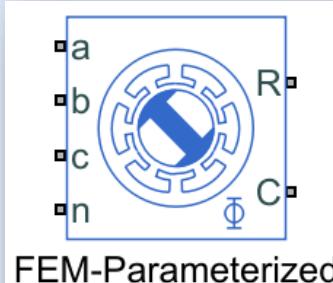
BLDC



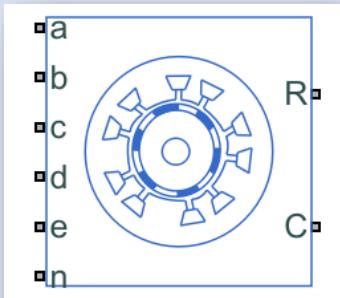
PMSM



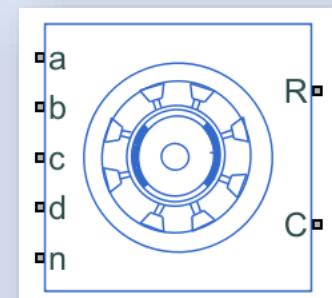
PMSM (Six-Phase)



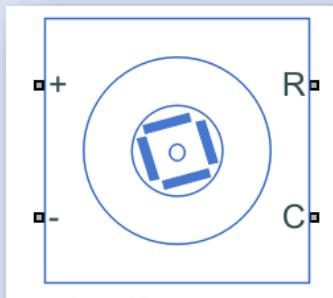
FEM-Parameterized  
PMSM



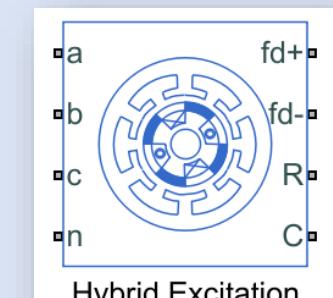
PMSM (Five-Phase)



PMSM (Four-Phase)

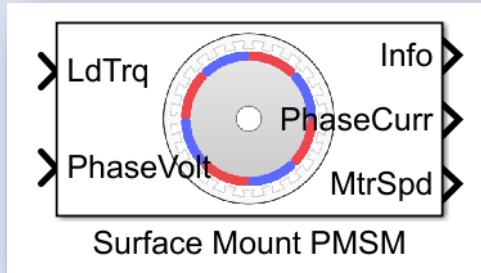


PMSM (Single-Phase)

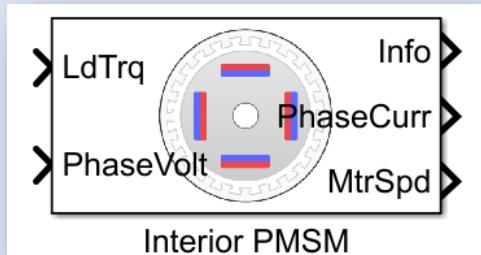


Hybrid Excitation  
PMSM

Быстро



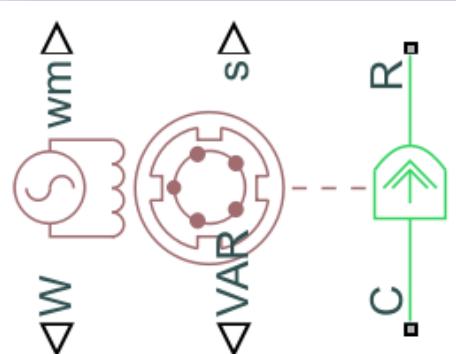
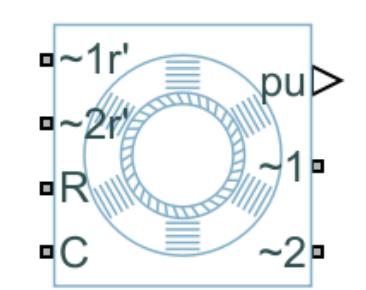
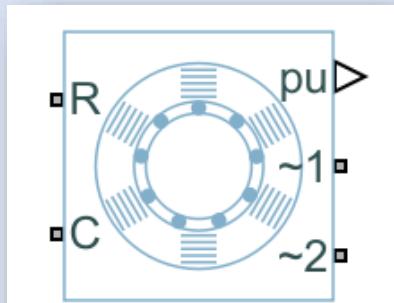
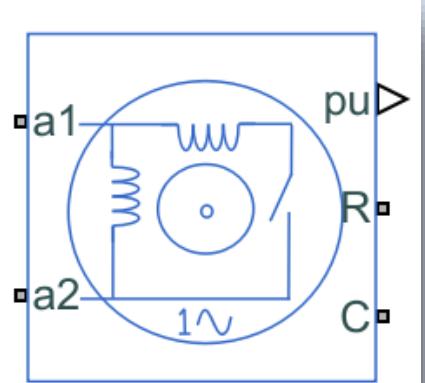
Surface Mount PMSM



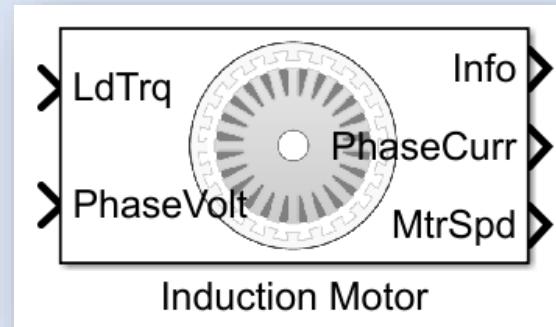
Interior PMSM

# Асинхронные двигатели

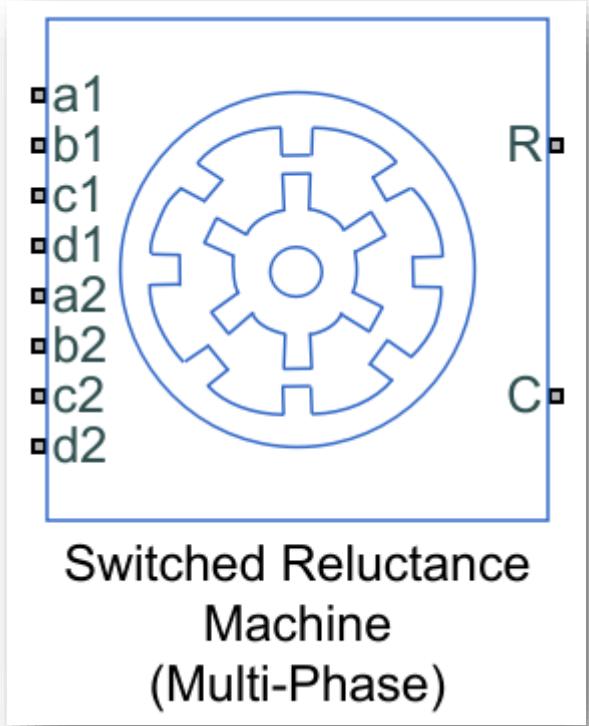
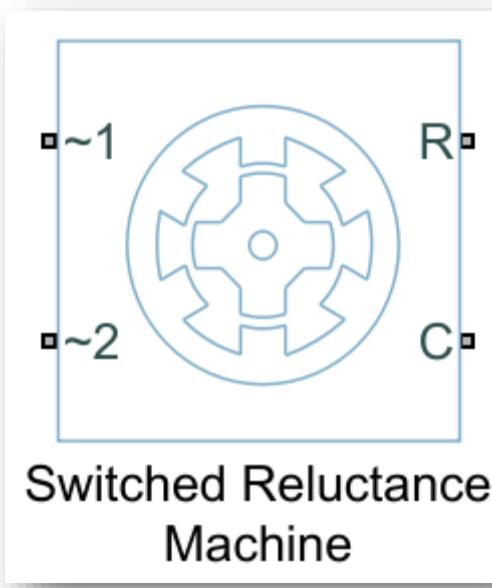
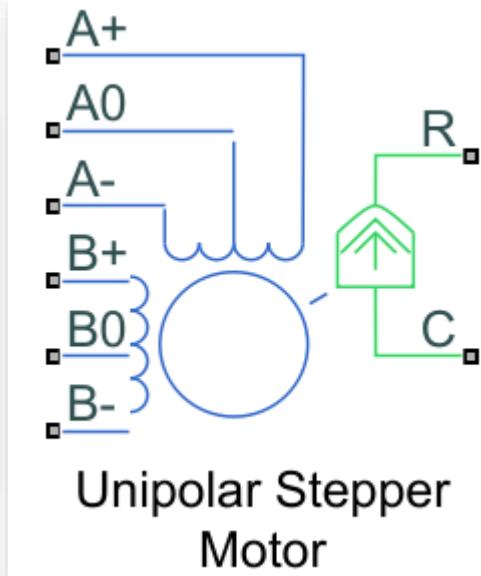
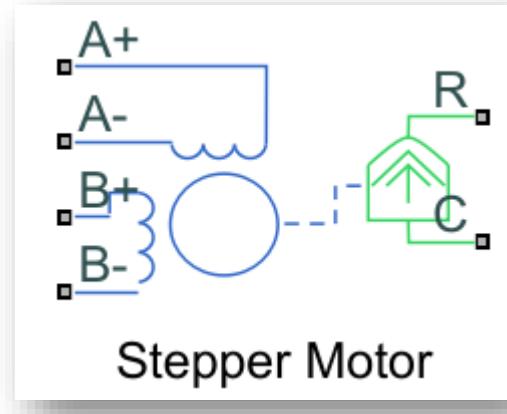
Точно



Быстро



# Шаговые и вентильные реактивные двигатели



# Ссылки

## Используемые инструменты:

- [Embedded Coder](#)
- [Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors](#)
- [Motor Control Blockset](#)
- [Simscape](#)
- [Simscape Electrical](#)

## Использованные примеры:

- [Run 3-Phase AC Motors in Open-Loop Control and Calibrate ADC Offset](#)
- [Quadrature Encoder Offset Calibration for PMSM Motor](#)
- [Field-Oriented Control of PMSM Using SI Units](#)
- [MATLAB Project for FOC of PMSM with Quadrature Encoder](#)
- [Sensorless Field-Oriented Control of PMSM](#)

Подробнее

[tech@exponenta.ru](mailto:tech@exponenta.ru)  
[exponenta.ru](http://exponenta.ru)



**ЭКСПОНЕНТА**  
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И МОДЕЛИРОВАНИЯ