


Simulink, управление, и тестирование в реальном времени

Пример применения модельно-ориентированного проектирования



Аркадий Туревский

Программа

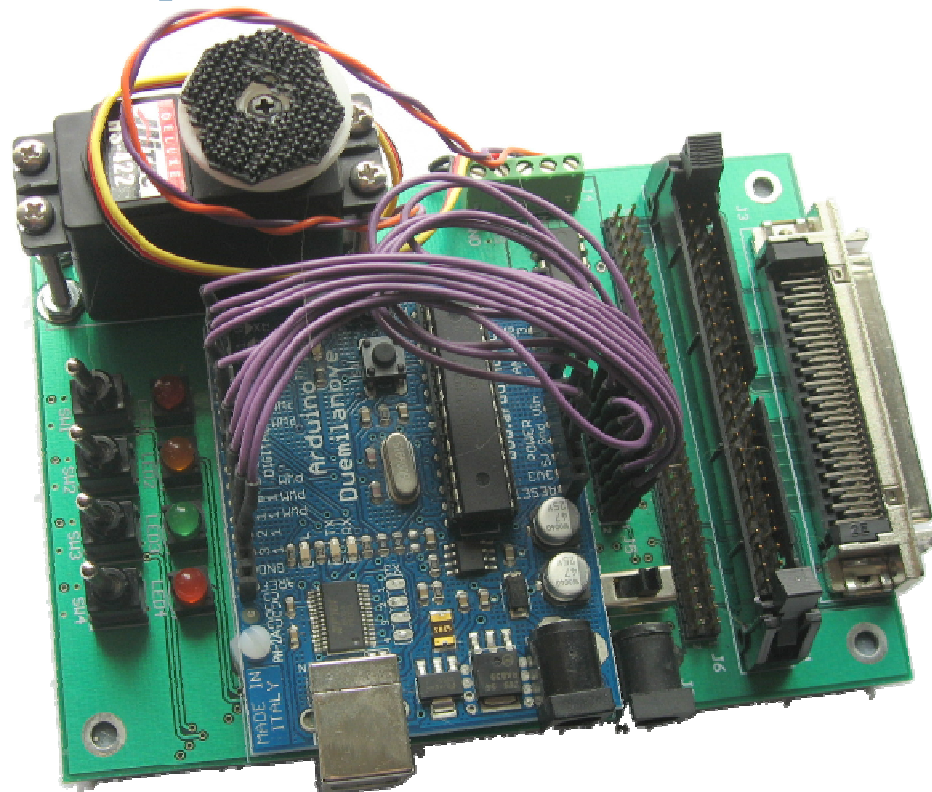
- Вступление, постановка задачи
 - Моделирование: различные подходы
 - Синтез системы управления
 - Быстрое прототипирование
 - Заключение
 - Ответы на вопросы
- 

Модельно-ориентированное проектирование

- **Предоставляет решение САПР** для мультidisциплинарной, системного уровня разработки встроенных систем управления
- **Использует имитационные модели** для математического описания системного поведения сложного оборудования
- **Автоматически генерирует код** из моделей для тестирования в реальном времени и воплощения
- **Позволяет Вам непрерывно производить проверку и тестирование** по ходу всего процесса разработки



Пример: Модельно-ориентированное проектирование системы управления электромотором постоянного тока



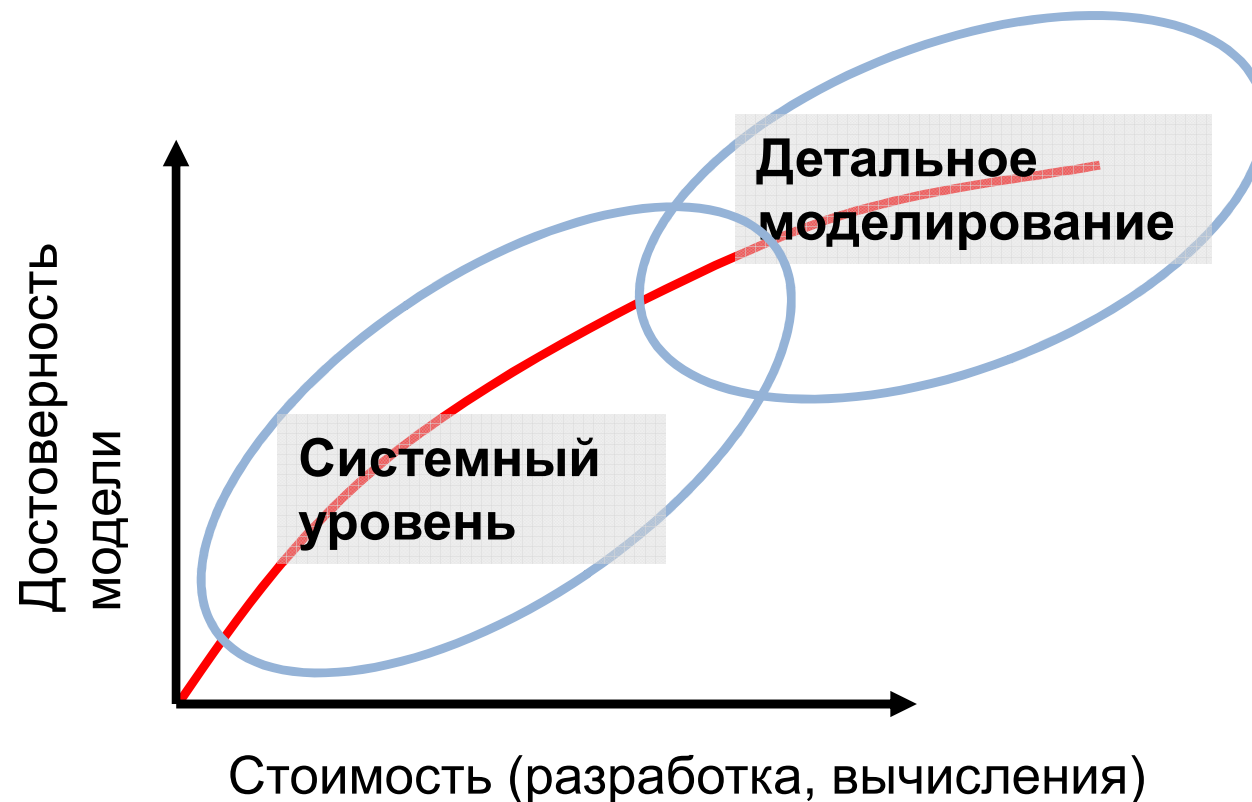
Пример

Этапы разработки

- **Моделирование:**
понимание задачи
- **Синтез системы управления:**
решение задачи
- **Проверка в реальном времени:**
проверка результатов работы



Моделирование на системном уровне

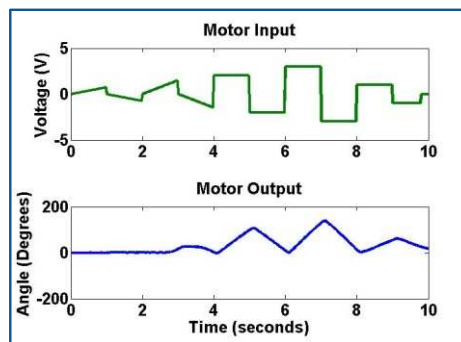
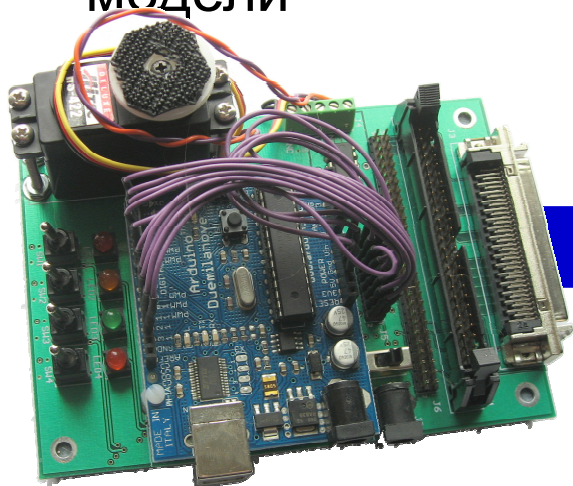


- Моделирование важной для анализа динамики
- Компромисс между стоимостью и достоверностью

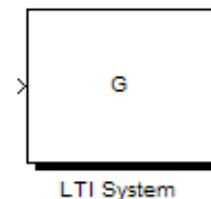
Моделирование динамических систем: два подхода

На основе измерений

Использование результатов измерений объекта для построения математической модели



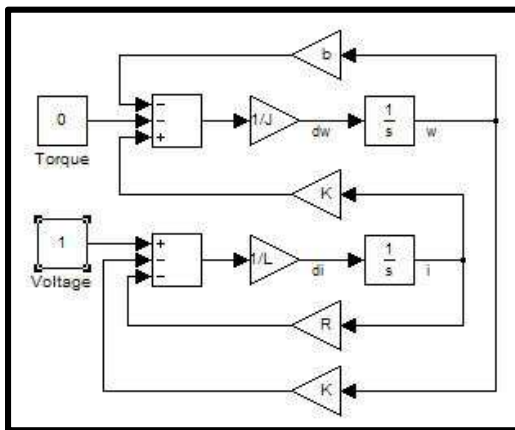
$$G(s) = \frac{1.4e9}{1 + 2.8e7s} e^{-0.1s}$$



Моделирование динамических систем: два подхода

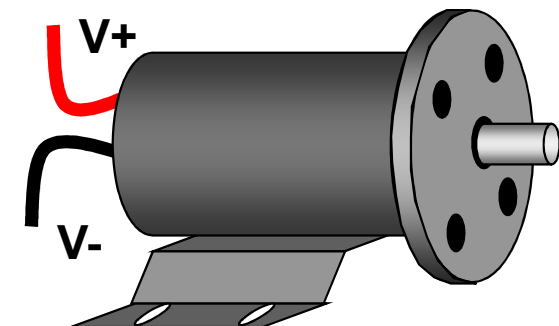
На основе базовых принципов

Получение
математического описания
на основании физики
объекта

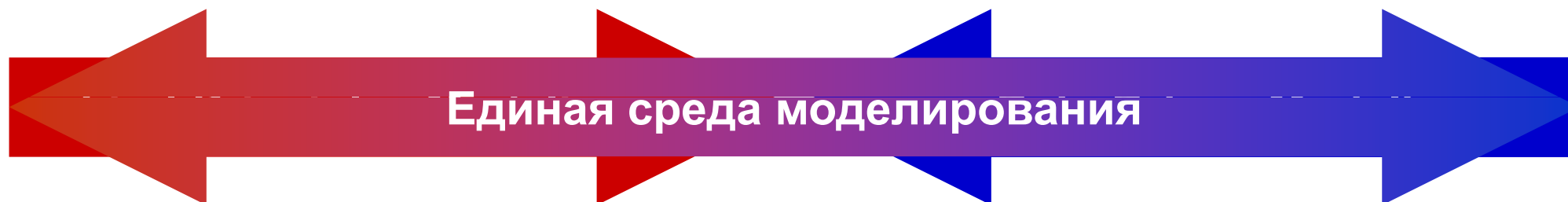


$$V = K * \omega + R * i + L * \delta i / \delta t$$

$$T = K * i - b * \omega - J * \delta \omega / \delta t$$



Плюсы и минусы



Плюсы:

- Учет сути поведения
- Учет физических параметров

Минусы:

- Трение и турбуленция?
- Временные затраты
- Специальные знания

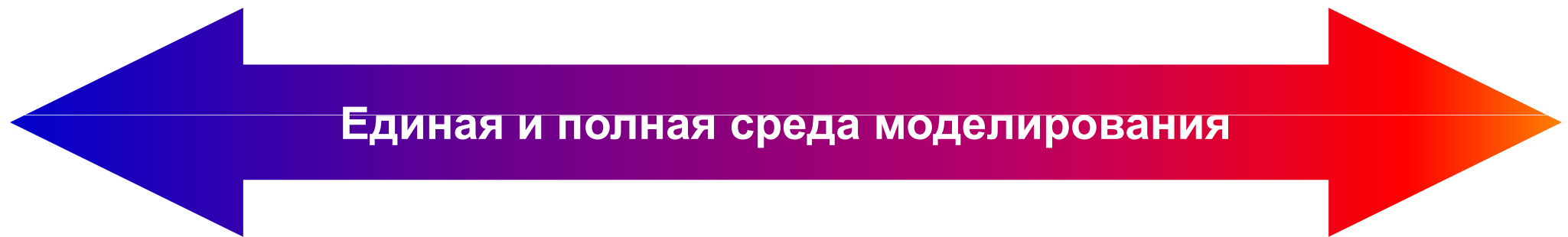
Плюсы:

- Быстрота
- Точность

Минусы:

- Необходим доступ к объекту управления
- Необходима измерительная аппаратура

Средства для всех подходов



Данные
System
Identification
Toolbox

Test and
Measurement
Tools

Simulink
Design
Optimization

**Базовые
принципы**
Simulink

Physical Modeling
Tools

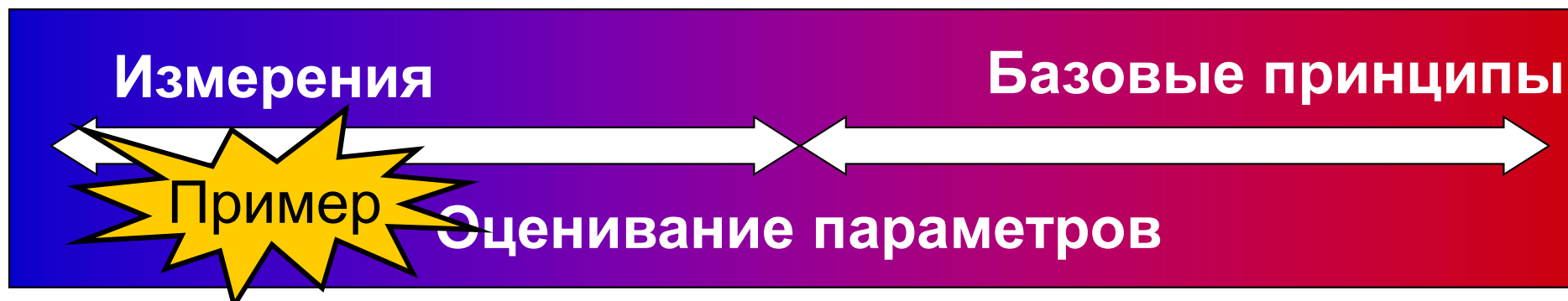
Моделирование: *понимание задачи*

- **Методы на основе измерений:
существующая система**
 - Измерение тестовых данных
 - Системная идентификация для получения модели
- **Моделирование на основе базовых
принципов: новая разработка**
 - Дифференциальные уравнения
 - Физическое моделирование
- **Оценивание параметров: первый прототип**
 - Физические параметры из тестовых данных



Моделирование: *понимание задачи*

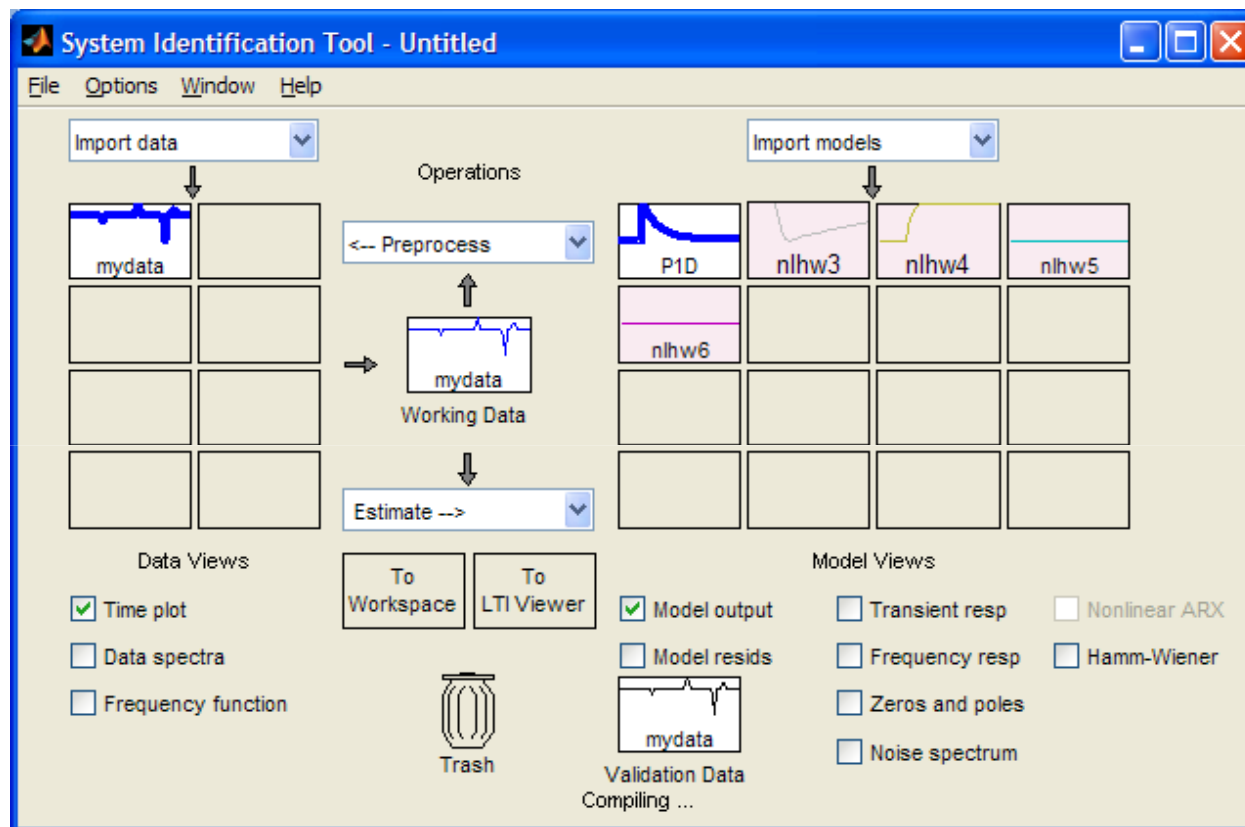
- **Методы на основе измерений:
существующая система**
 - Измерение тестовых данных
 - Системная идентификация для получения модели
- Моделирование на основе базовых принципов: новая разработка
 - Дифференциальные уравнения
 - Физическое моделирование
- Оценивание параметров: первый прототип
 - Физические параметры из тестовых данных



Моделирование на основе измерений

System Identification Toolbox позволяет получить модель из измеренных данных.

- Проанализировать, и обработать тестовые данные
- Построить и сравнить друг с другом модели
- Проанализировать поведение модели при помощи графиков: шаговая функция, АЧХ/ФЧХ, и карты полюсов-нулей



Моделирование: *понимание задачи*

- Методы на основе измерений: существующая система
 - Измерение тестовых данных
 - Системная идентификация для получения модели
- **Моделирование на основе базовых принципов: новая разработка**
 - Дифференциальные уравнения
 - Физическое моделирование
- Оценивание параметров: первый прототип
 - Физические параметры из тестовых данных



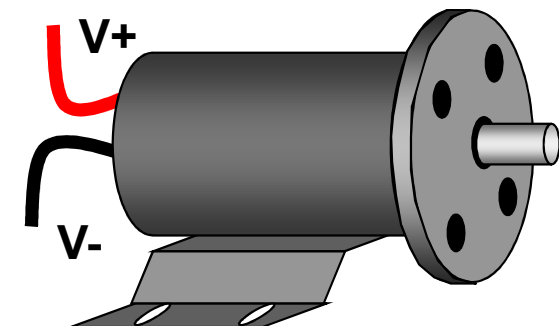
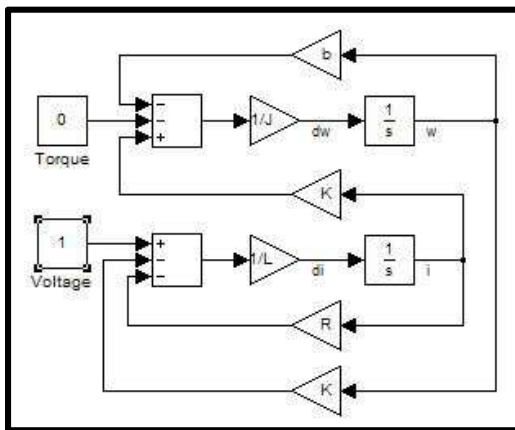
Моделирование динамических систем: дифференциальные уравнения

Базовые принципы

Математическое описание
системы на основе
понимания
дифференциальных
уравнений системы

$$V = K * \omega + R * i + L * \delta i / \delta t$$

$$T = K * i - b * \omega - J * \delta \omega / \delta t$$



Моделирование: *понимание задачи*

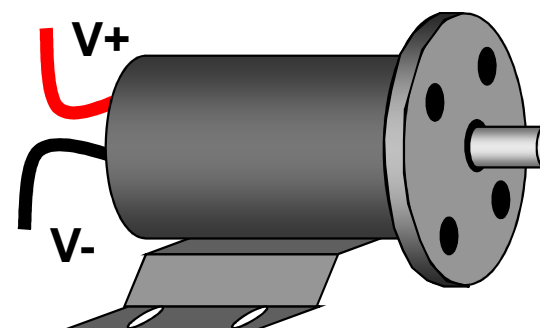
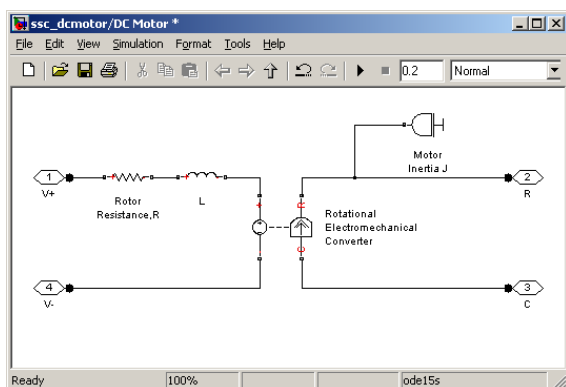
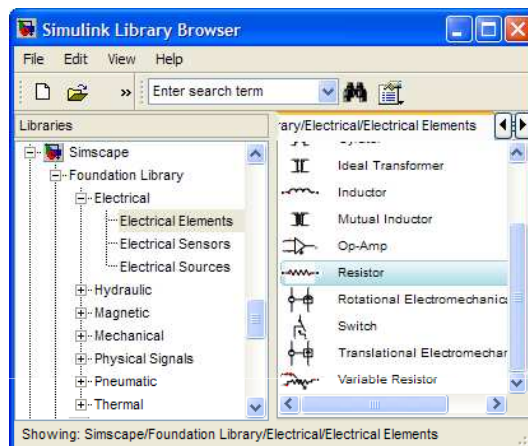
- Методы на основе измерений: существующая система
 - Измерение тестовых данных
 - Системная идентификация для получения модели
- **Моделирование на основе базовых принципов: новая разработка**
 - Дифференциальные уравнения
 - Физическое моделирование
- Оценивание параметров: первый прототип
 - Физические параметры из тестовых данных



Моделирование динамических систем: Simscape

Базовые принципы

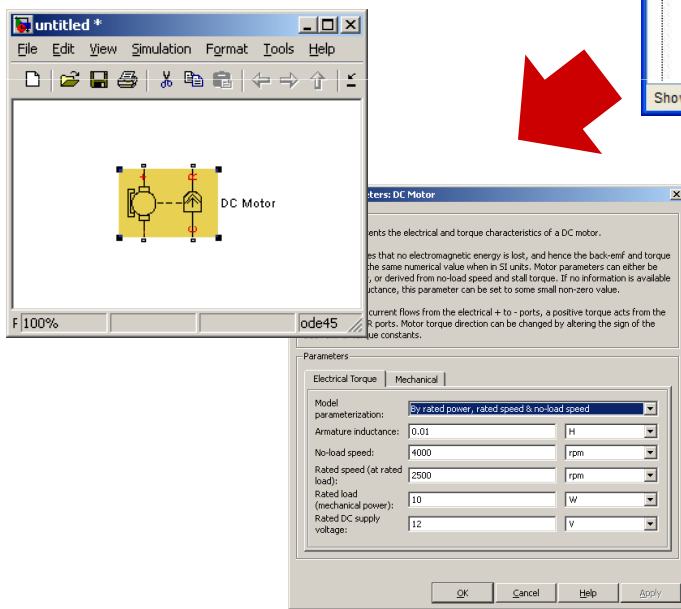
Описание системы
составляющими ее
физическими элементами



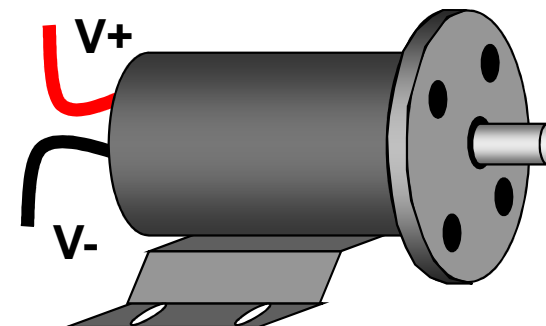
Моделирование динамических систем : SimElectronics

Базовые принципы

Описание системы
составляющими ее
физическими элементами



Пример

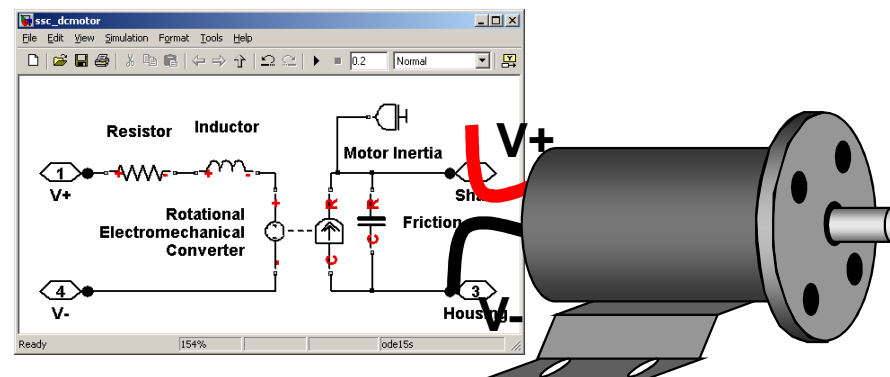


Simscape

Расширение Simulink для моделирования мультидоменных физических систем

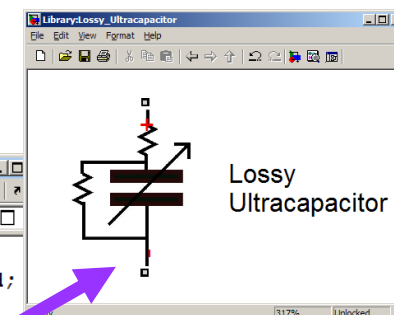
Ключевые возможности:

- Базовые элементы
- Моделирование нестандартных элементов
- Учет единиц измерения
- Поддержка генерации C кода



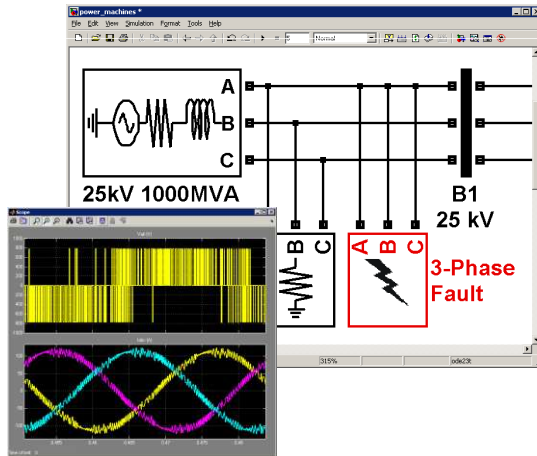
$$i = (C_0 + C_v v) \frac{dv}{dt} + \frac{v}{r_d}$$

```
Editor - C:\Lossy_Capacitor.ssc*
File Edit Text Go Tools Debug Desktop Window Help
- 1.0 + 1.1 x
equations
63 i == (C0 + Cv*v)*vc.der + vc/Rd;
64 v == vc + i*R;
65
66 end
Simscape model file Ln 67 Col 4 OVR
```



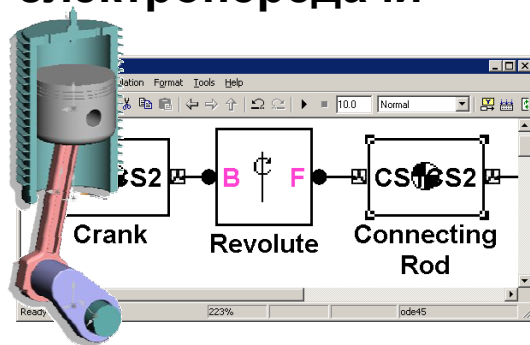
Физические системы в Simulink

SimPowerSystems



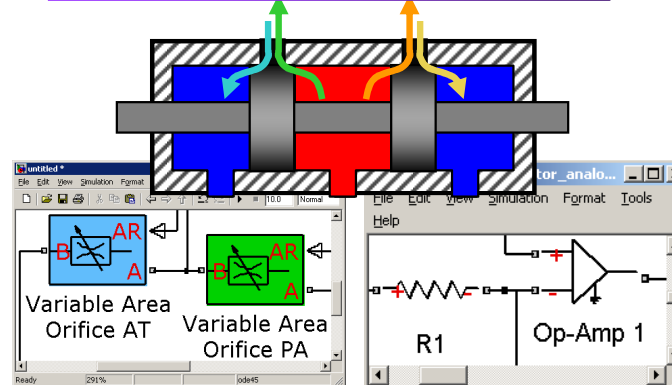
Системы
электропередачи

SimMechanics



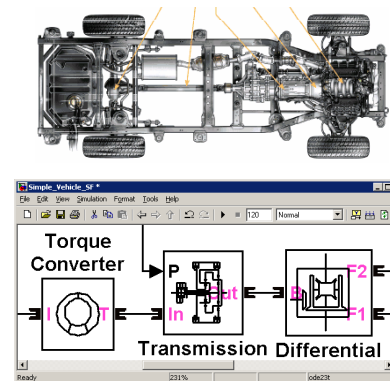
Механика (3-D)

Simscape



Мультидоменные физические
системы

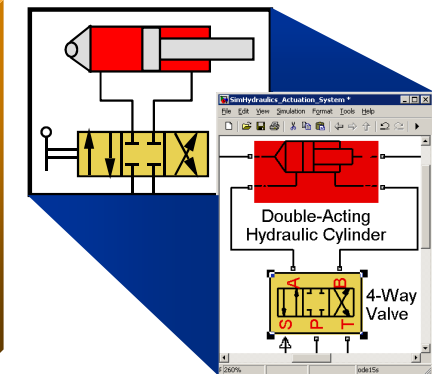
SimDriveline



Валовые вращательные
системы (1-D)

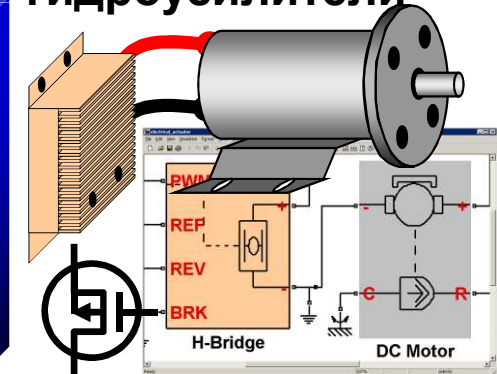
SimPowerSystems
SimMechanics
SimDriveline
SimHydraulics
SimElectronics
Simscape
MATLAB, Simulink

SimHydraulics



Гидравлика и
гидроусилители

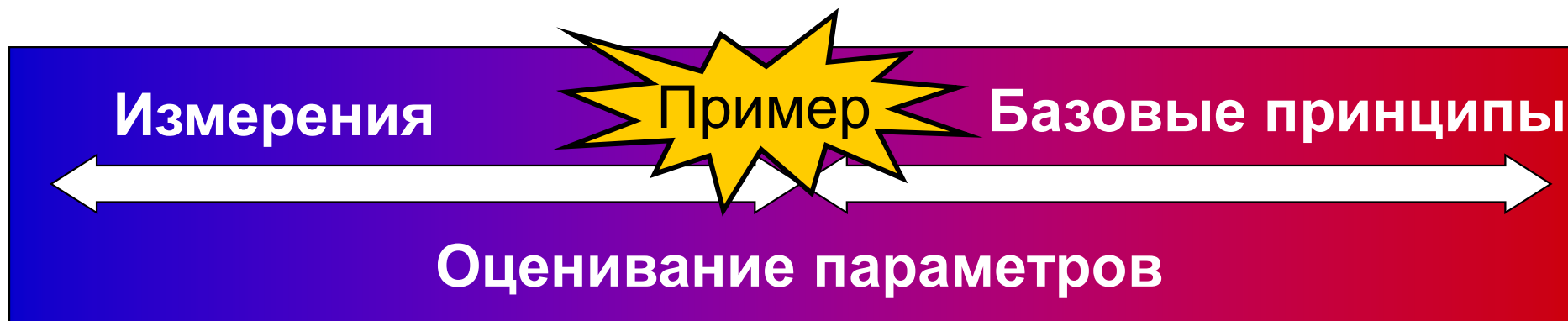
SimElectronics



Электромеханические и
электронные системы

Моделирование: *понимание задачи*

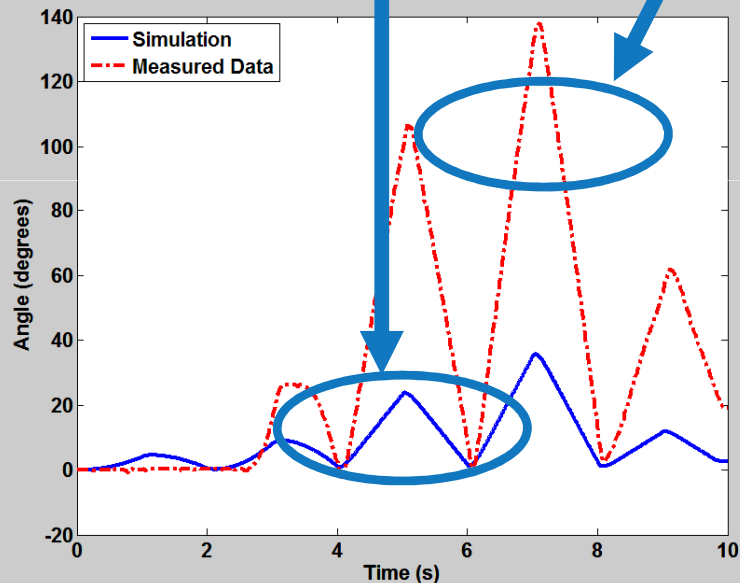
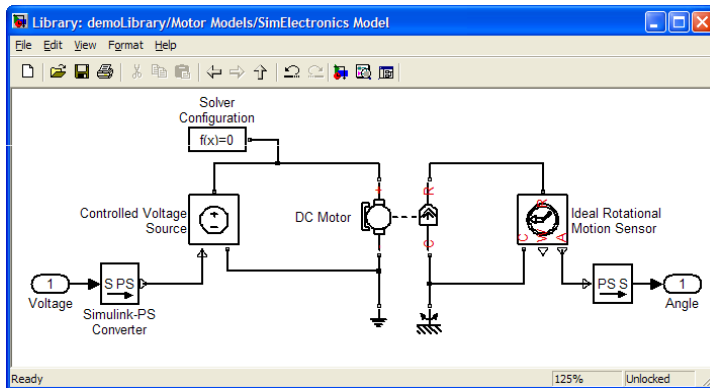
- Методы на основе измерений:
существующая система
 - Измерение тестовых данных
 - Системная идентификация для получения модели
- Моделирование на основе базовых принципов: новая разработка
 - Дифференциальные уравнения
 - Физическое моделирование
- **Оценивание параметров: первый прототип**
 - Физические параметры из тестовых данных



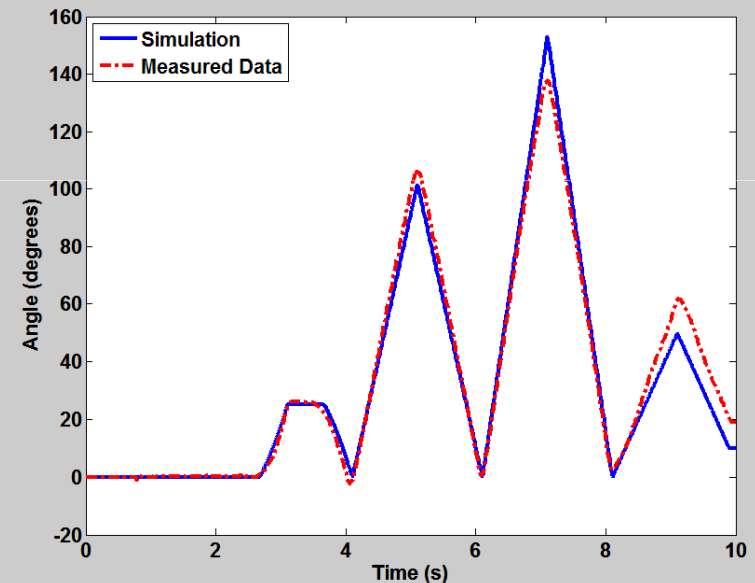
Оценивание параметров мотора

Ненастроенные параметры

- Сопротивление
- Индуктивность
- Константа трения
- Инерция...



Настроить
параметры
при помощи
численной
оптимизации



Этапы разработки

- **Моделирование:**

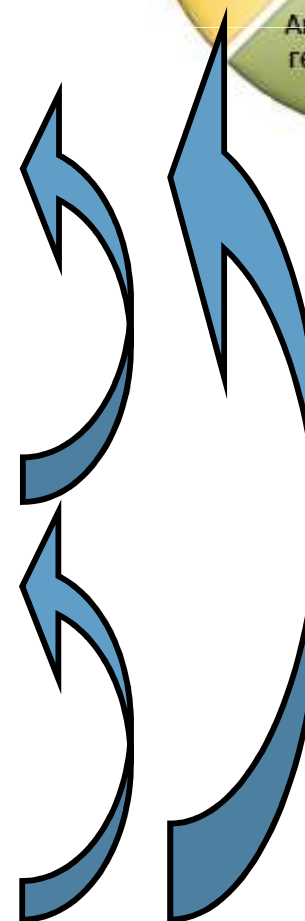
понимание задачи

- **Синтез системы управления:**

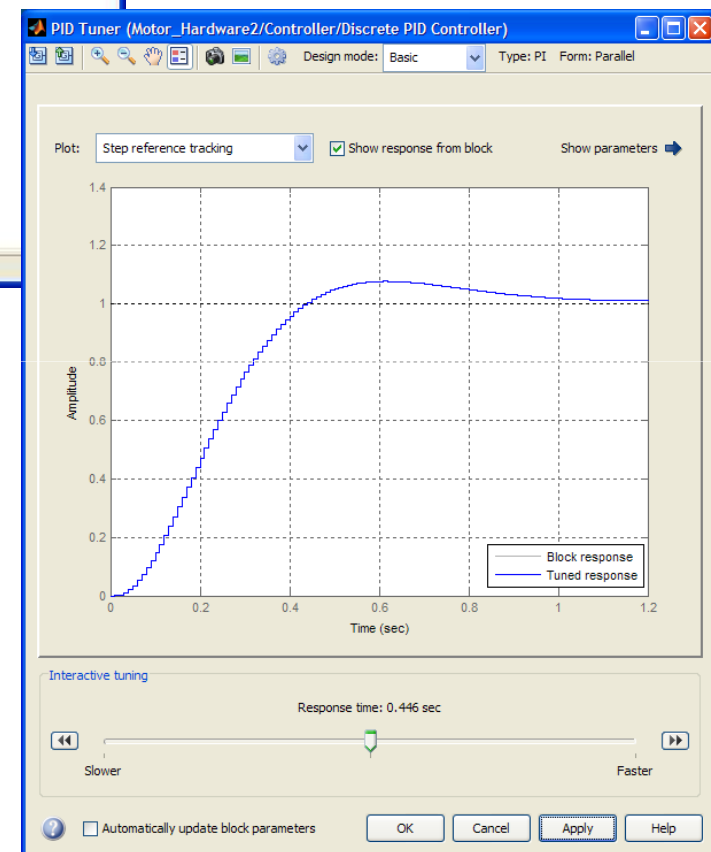
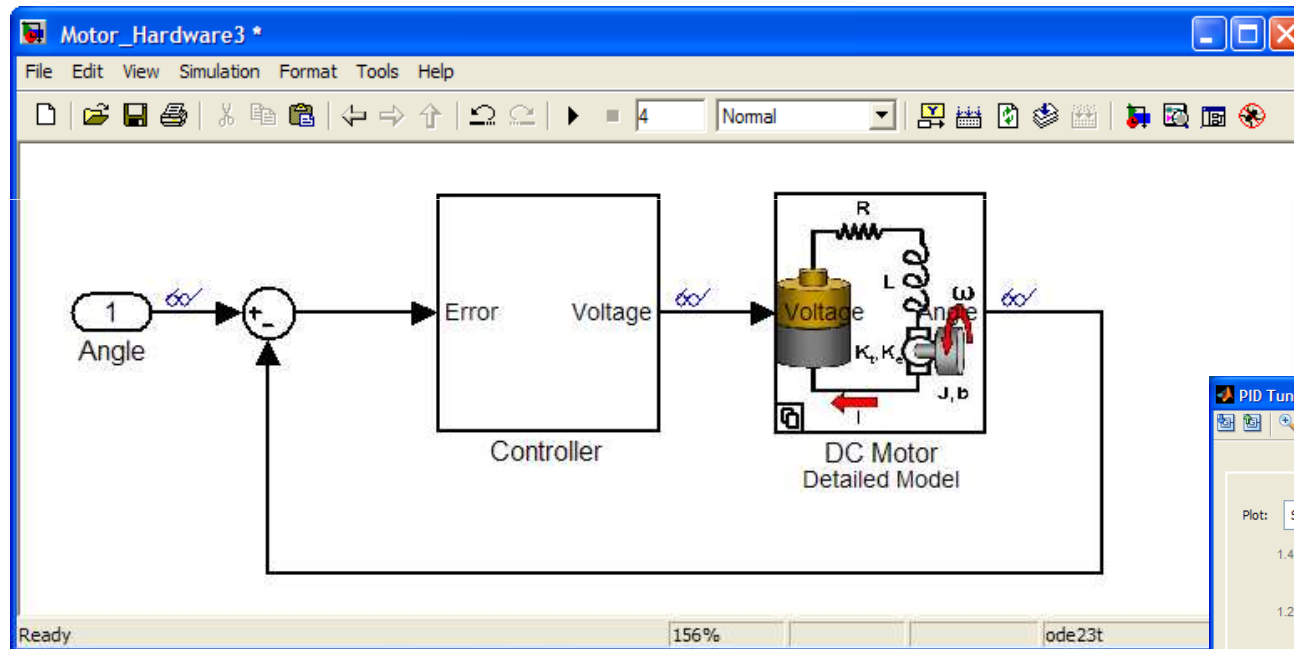
решение задачи

- **Проверка в реальном времени:**

проверка результатов работы



Синтез закона управления



Этапы разработки

- **Моделирование:**

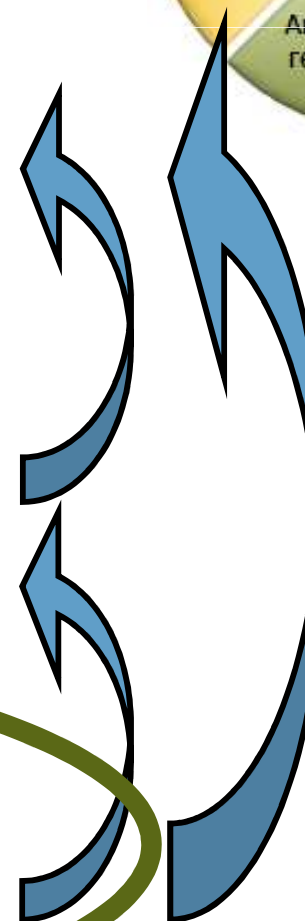
понимание задачи

- **Синтез системы управления:**

решение задачи

- **Проверка в реальном времени:**

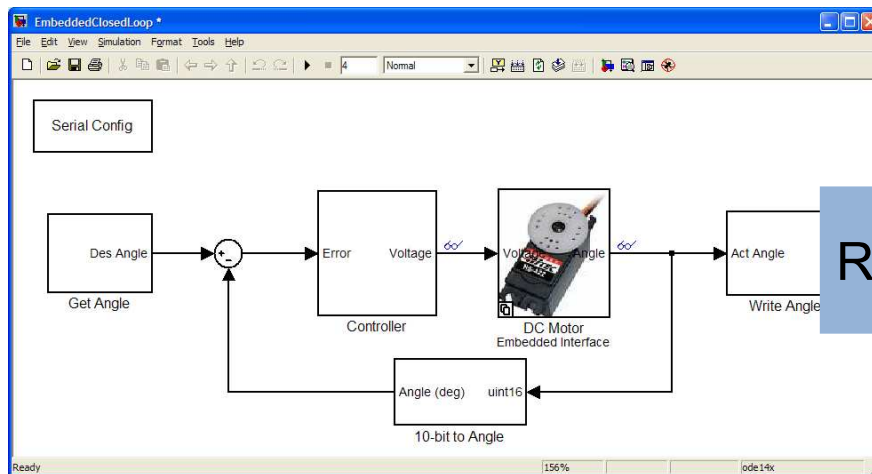
проверка результатов работы



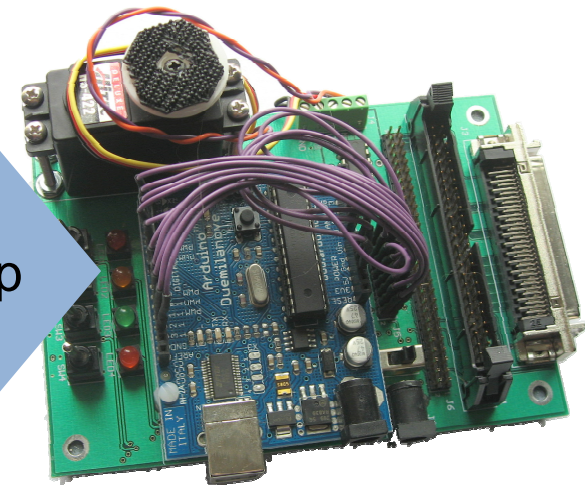
Проверка в реальном времени: *проверка результатов работы*

- Подготовка Simulink-модели для быстрого прототипирования
- Автоматическая генерация кода с помощью Real-Time Workshop
- Связь с реализованной разработкой

Реализация с автоматической генерацией кода



Real-Time Workshop



Пример

Этапы разработки

- **Моделирование:**
понимание задачи
- **Синтез системы управления:**
решение задачи
- **Проверка в реальном времени:**
проверка результатов работы



Преимущества Модельно-Оrientированного Проектирования

Инновации

- Позволяет быстро пробовать новые решения
- Позволяет эффективно находить правильные компромисы

Качество

- Не позволяет ошибкам достичь железа
- Сокращает количество переработки

Стоимость

- Сокращает потребность в дорогих опытных образцах
- Сокращает стоимость тестирования

Время Разработки

- Помогает сделать правильно с первого раза
- Ускоряет процесс разработки

