



# MATLAB EXPO 2017

搭建快速而准确的新能源汽车动力总成系统模型

胡洪祥

MathWorks中国 高级咨询工程师

胡大凯

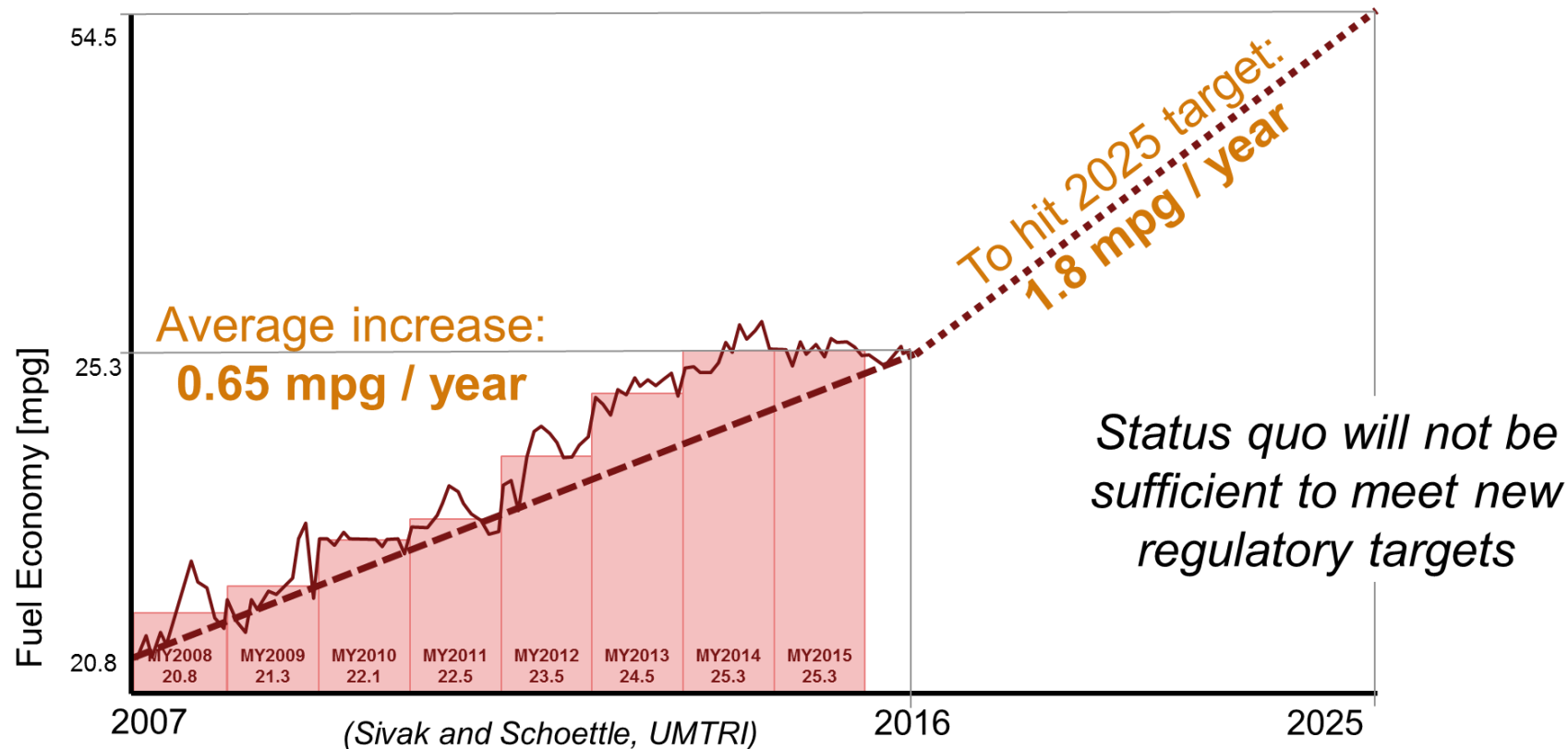
MathWorks美国 高级应用工程师

# 内容

- 新能源汽车动力总成模型的搭建
- 新能源汽车动力总成模型参数设置和控制器标定
- 混合动力汽车油耗仿真和优化
- 永磁电机控制子系统验证

# 背景

- 复杂的动力总成系统：先进发动机技术，混合动力技术，纯电动；

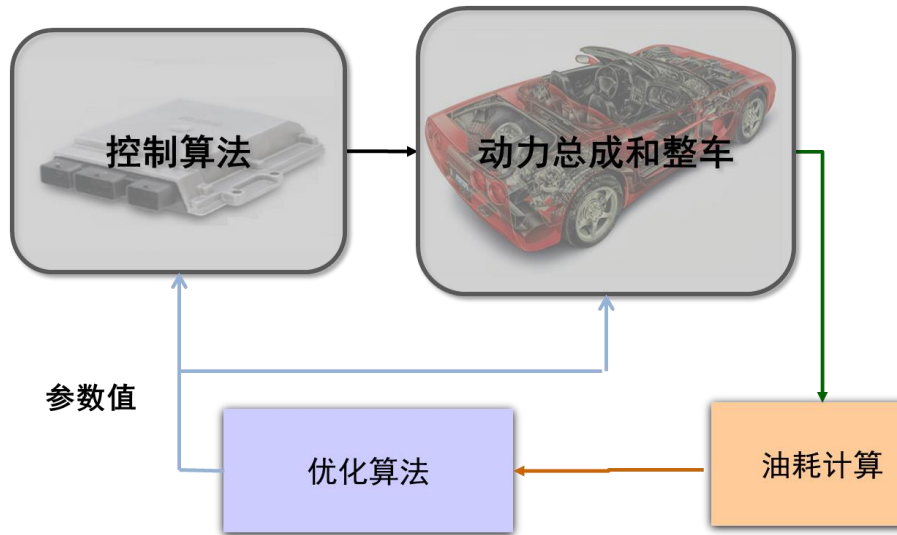


# 新能源汽车开发的挑战

- 如何在一个环境中设计和测试整车控制器？
- 如何进行零部件选型，系统匹配，燃油经济性，动力性和排放仿真分析？
- 如何设计和验证子系统控制器的算法？

# 要点

## 基于模型的设计（MBD）使用仿真技术来解决 新能源汽车系统设计和优化的难点



This block contains several key elements:

- Top Left:** A partial view of a presentation slide titled "Tools: Main to RAPID" by Nathaniel Michaluk, discussing "Control Algorithm".
- Top Right:** A photograph of a dark blue BMW sedan.
- Center:** A slide titled "MODEL-BASED SOFTWARE DEVELOPMENT: AN OEM'S PERSPECTIVE" from the MathWorks Automotive Conference 2015, presented by Simon Furst on 2015/09/24.
- Bottom Center:** A detailed diagram of the "BACE WITH AUTOSAR. SOFTWARE DEVELOPMENT WORKFLOW". It shows the flow from "Specification of architecture and SW component interfaces" through "Modelling" and "Code Generation" to "Source code". Key steps include "Data Declaration", "Conversion" (using ARXML), "Import", "Modeling", "Static checks", and "Code gen.". It also mentions "AUTOSAR Authoring" and "Source code".
- Bottom Right:** A slide featuring the BMW and MINI logos, stating "Ideal Driving software written in Simulink" and listing "Dr. Chris Gadda, Dr. Andrew Simpson" from Tesla Motors.

## 基于模型的设计挑战

*没有好的模型，就难以做好基于模型的设计（MBD）。*

- 缺少知识全面的专家/资源，搭建各种不同的模型；
- 模型在HIL测试的复用；
- 大大影响开发时间和成本；

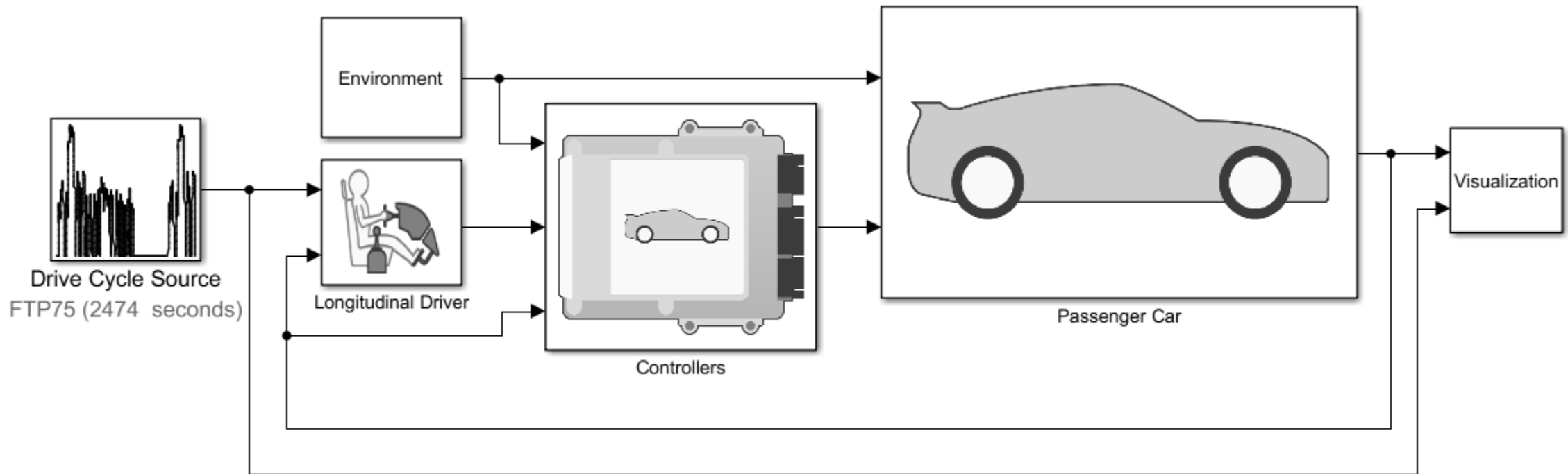
## MathWorks新产品目标

### 降低工程师搭建被控对象模型的门槛

- 为工程师提供一个很好的起点，来搭建一个的被控对象模型和控制模型；
- 提供开放的具有详尽文档说明的模型；
- 提供实时性可满足HIL测试要求的模型；

# Powertrain Blockset

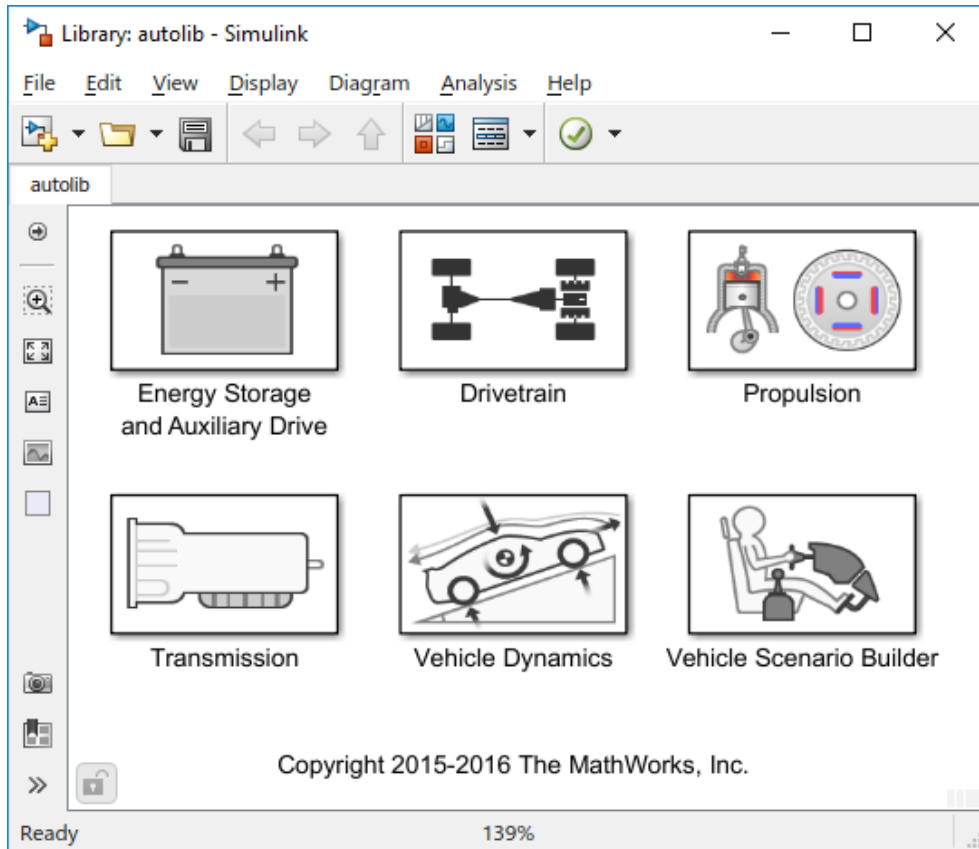
- 目标: 提供预建的, 可参数配置的, 满足实际使用需求的准确模型;



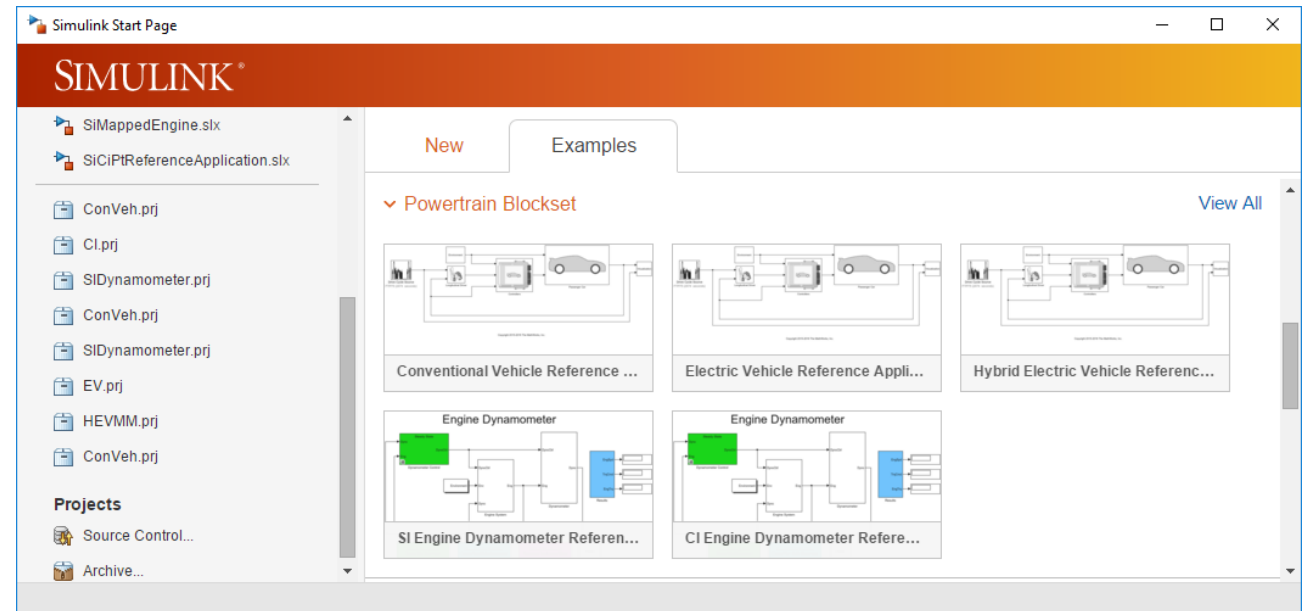


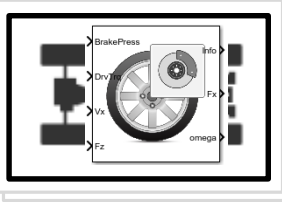
# Powertrain Blockset特征

## 模块库

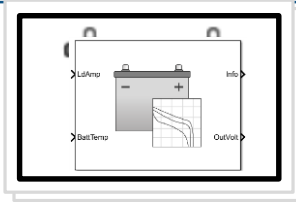


## 预建的参考应用模型

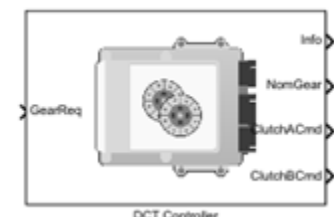
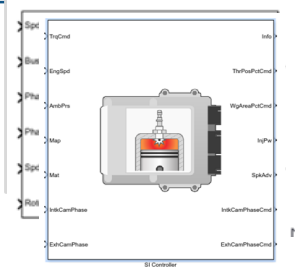




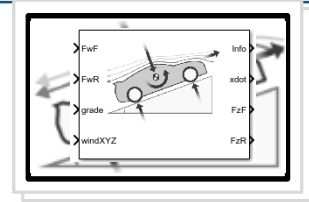
Drivetrain



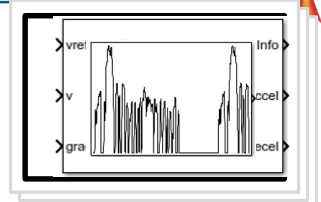
Energy Storage and Auxiliary Drive



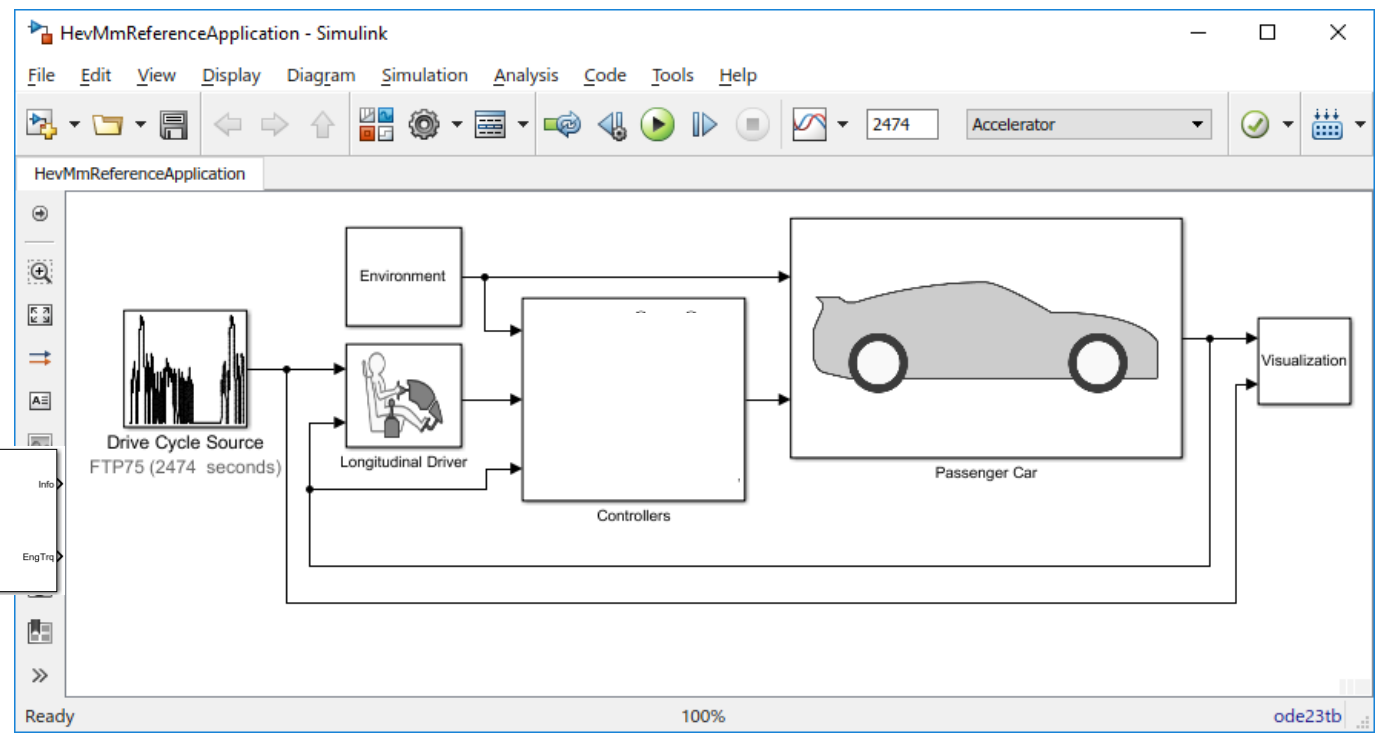
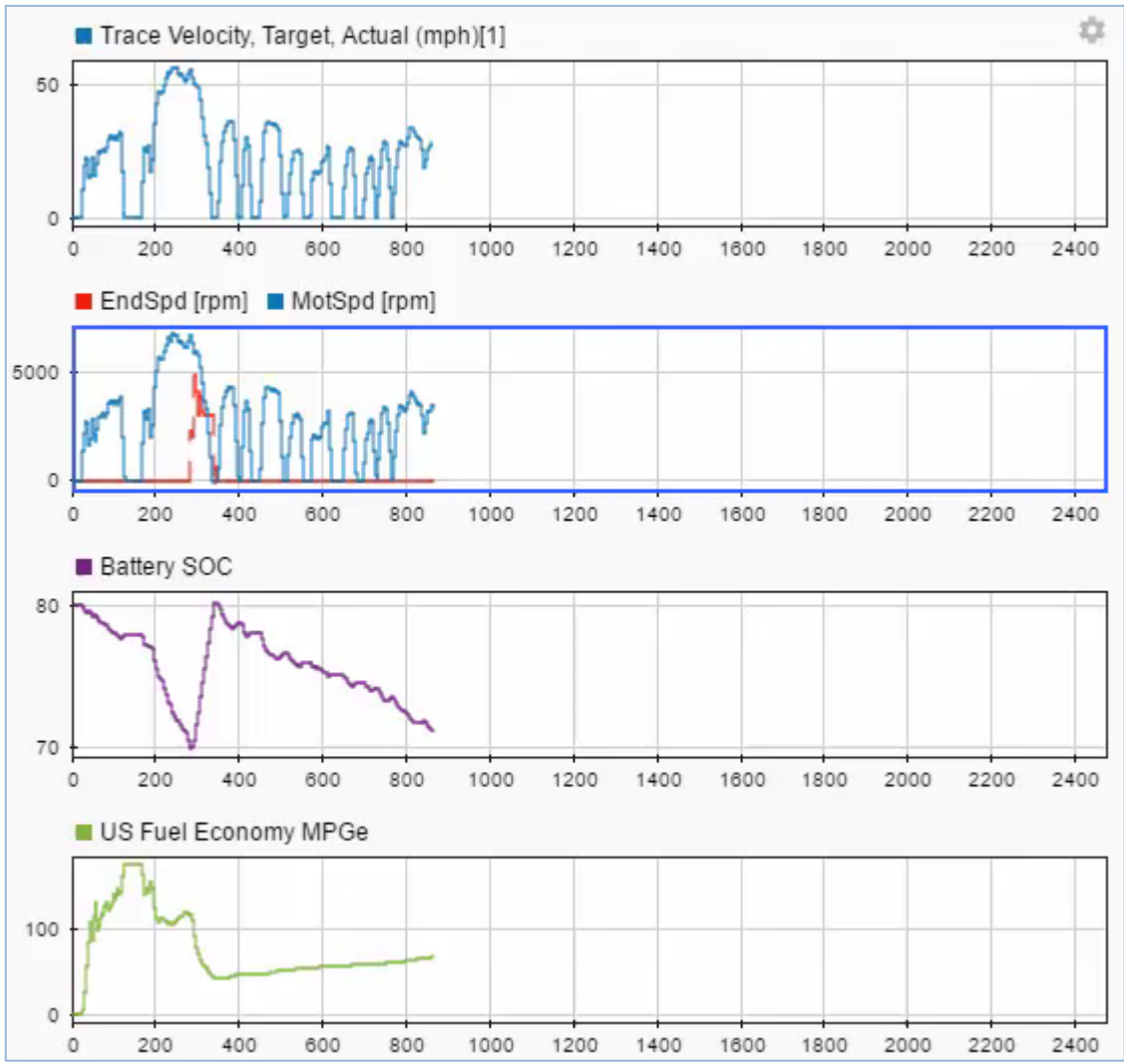
Transmission



Vehicle Dynamics



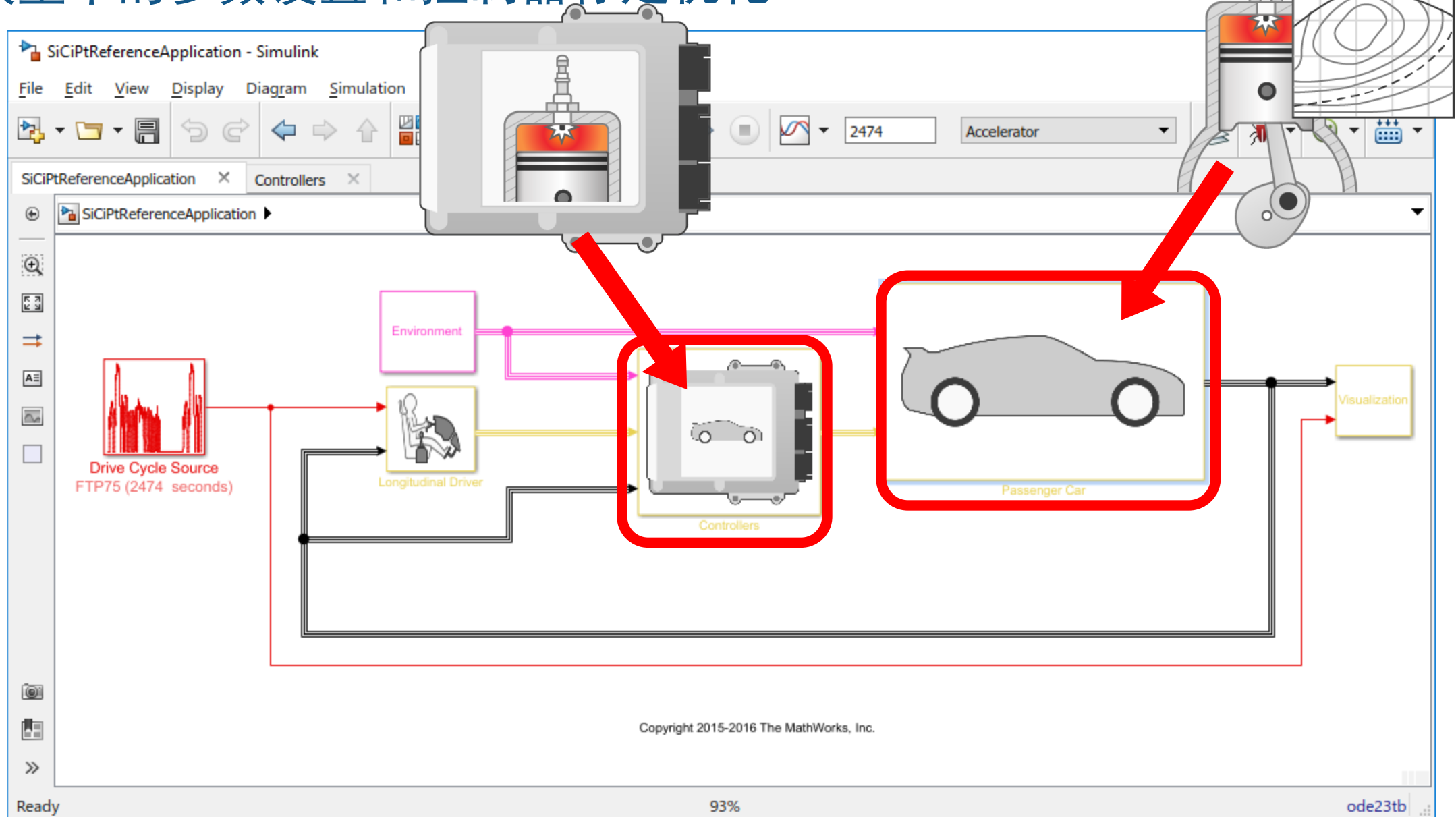
Vehicle Scenario Builder



# 内容

- 新能源汽车整车模型的搭建
- **新能源汽车动力总成模型参数设置和控制器标定**
- 混合动力汽车油耗仿真和优化
- 永磁电机控制子系统验证

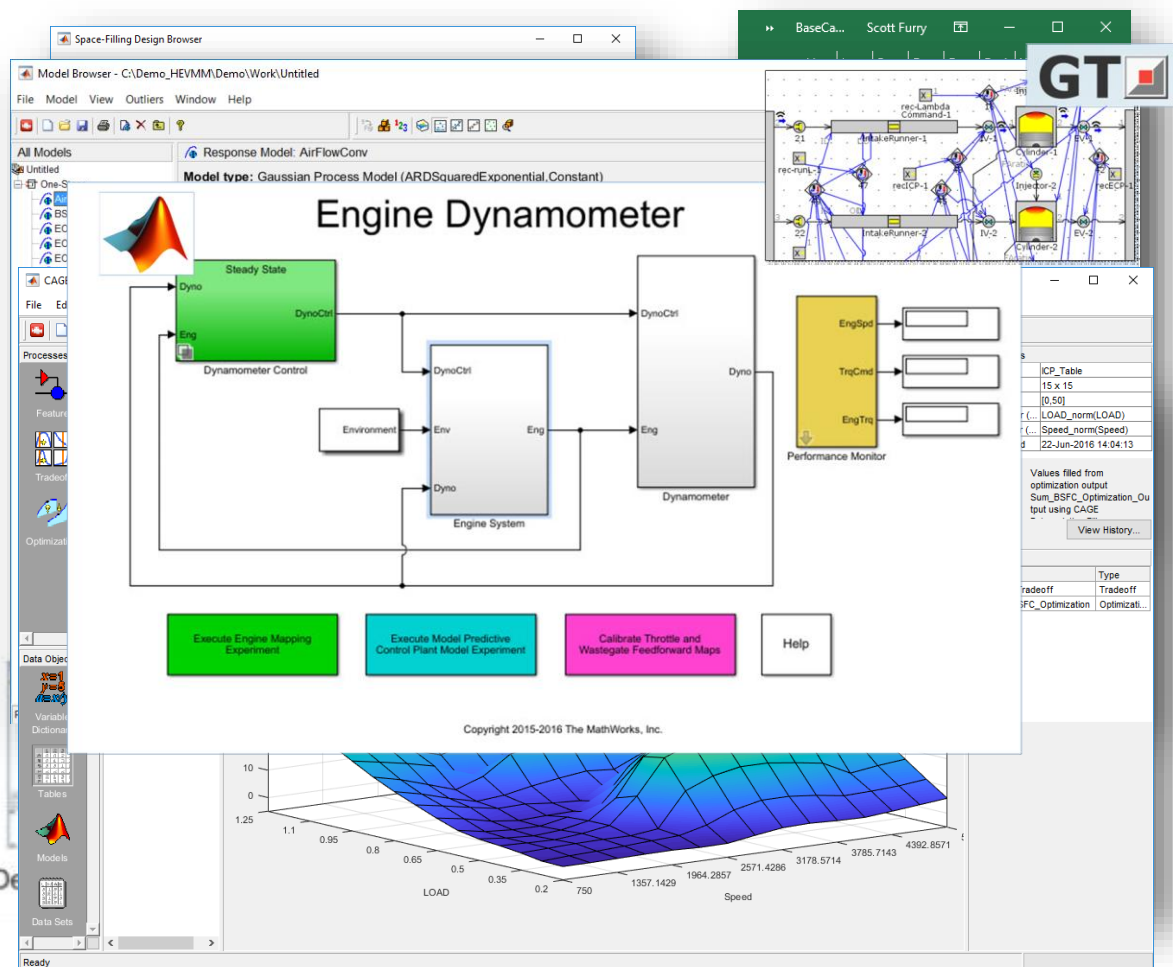
# 模型中的参数设置和控制器标定优化



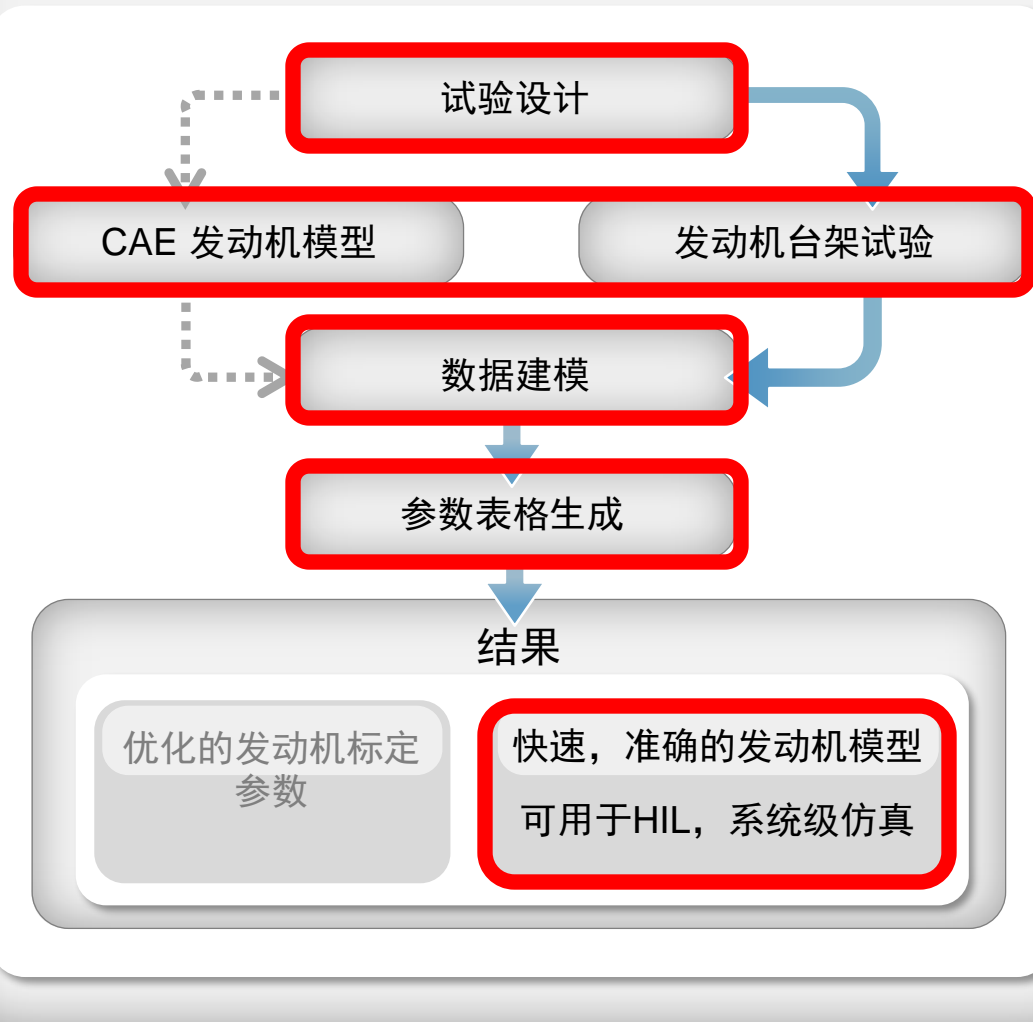
Copyright 2015-2016 The MathWorks, Inc.

# 发动机模型参数设置

- 发动机模型参数设置工作流程:

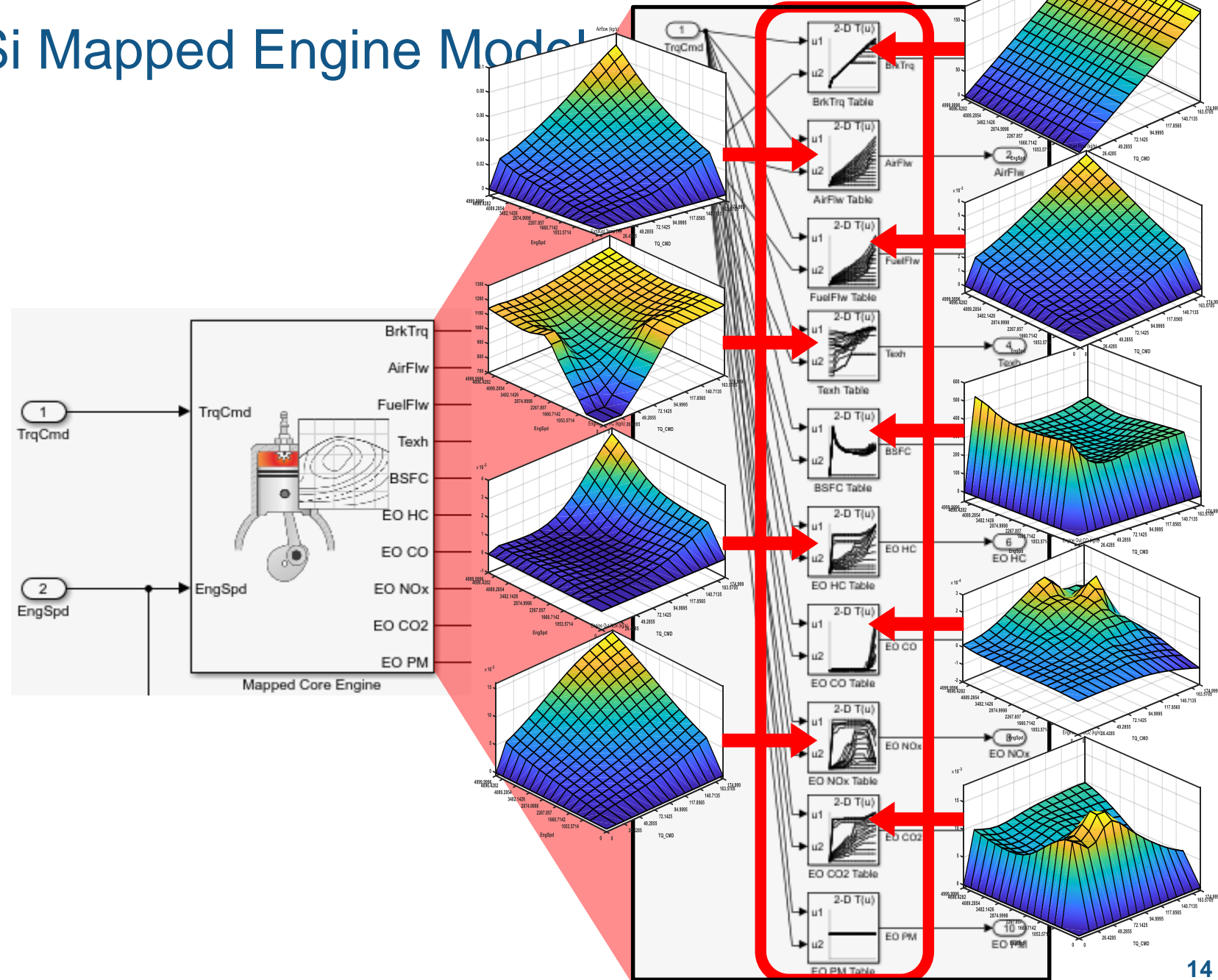


## Model-Based Calibration Toolbox 工作流程



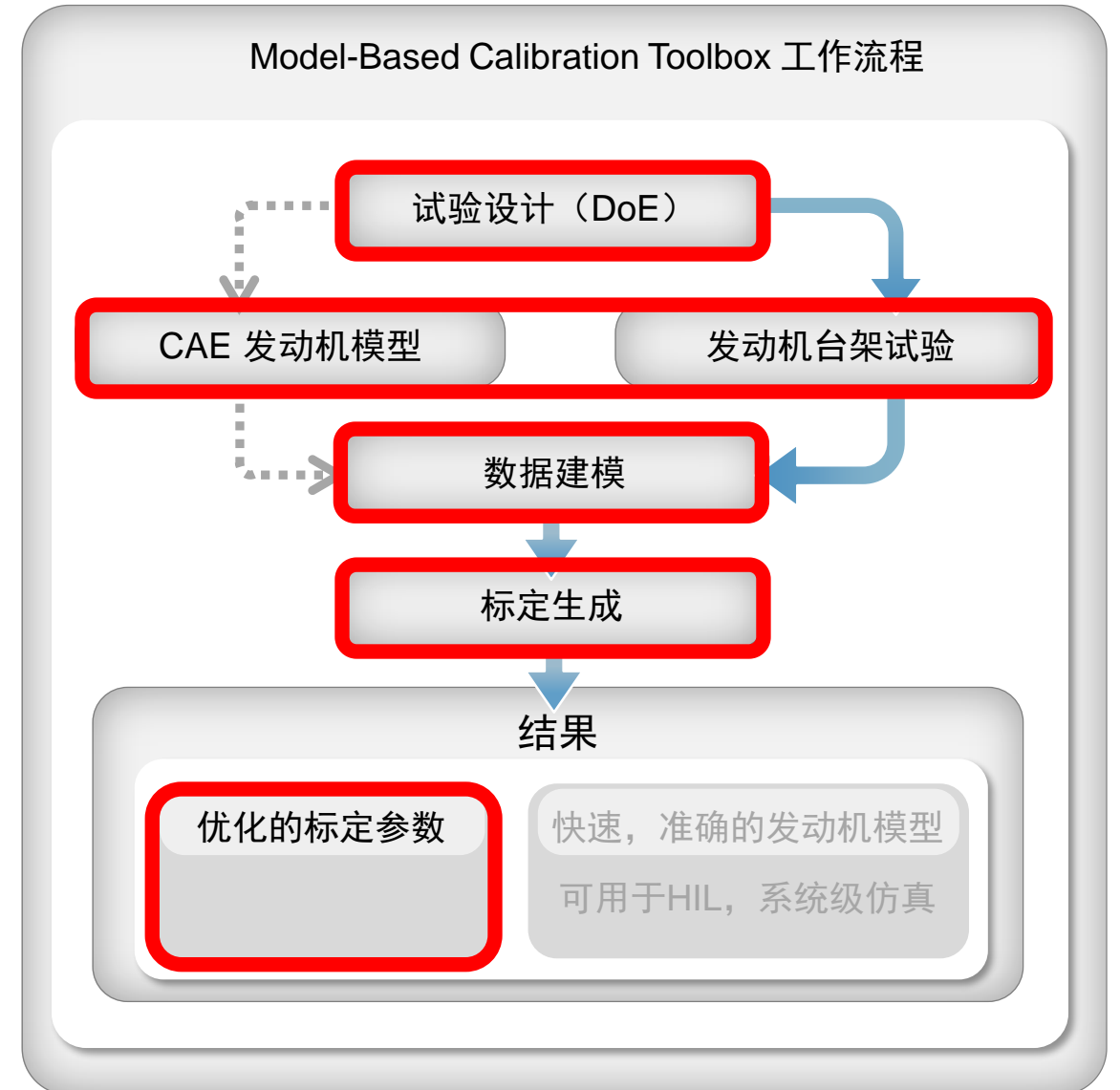
# Powertrain Blockset Si Mapped Engine Model

- 包含多个二维表格
- 使用MBC工具箱可方便的进行参数设置
- 适用于系统级设计仿真和开发

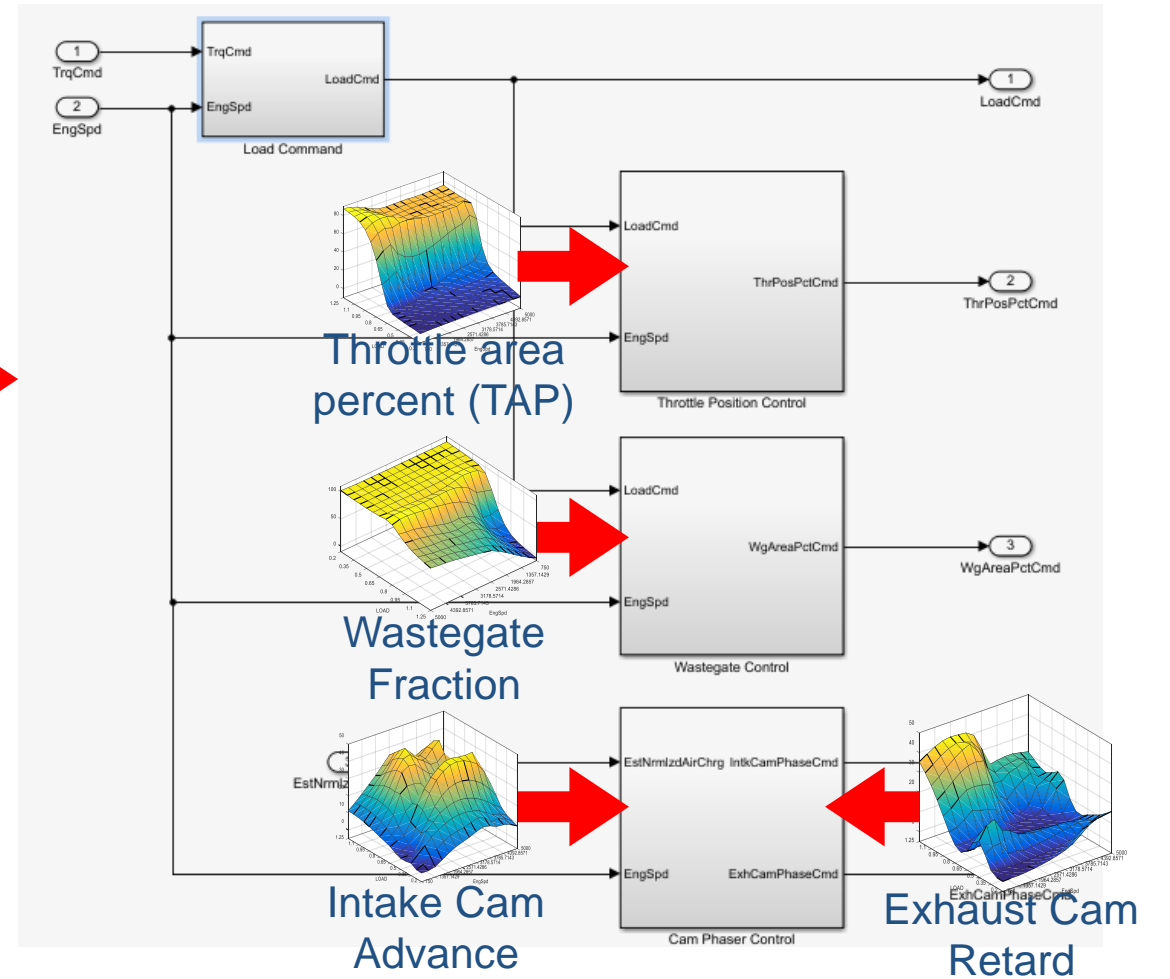
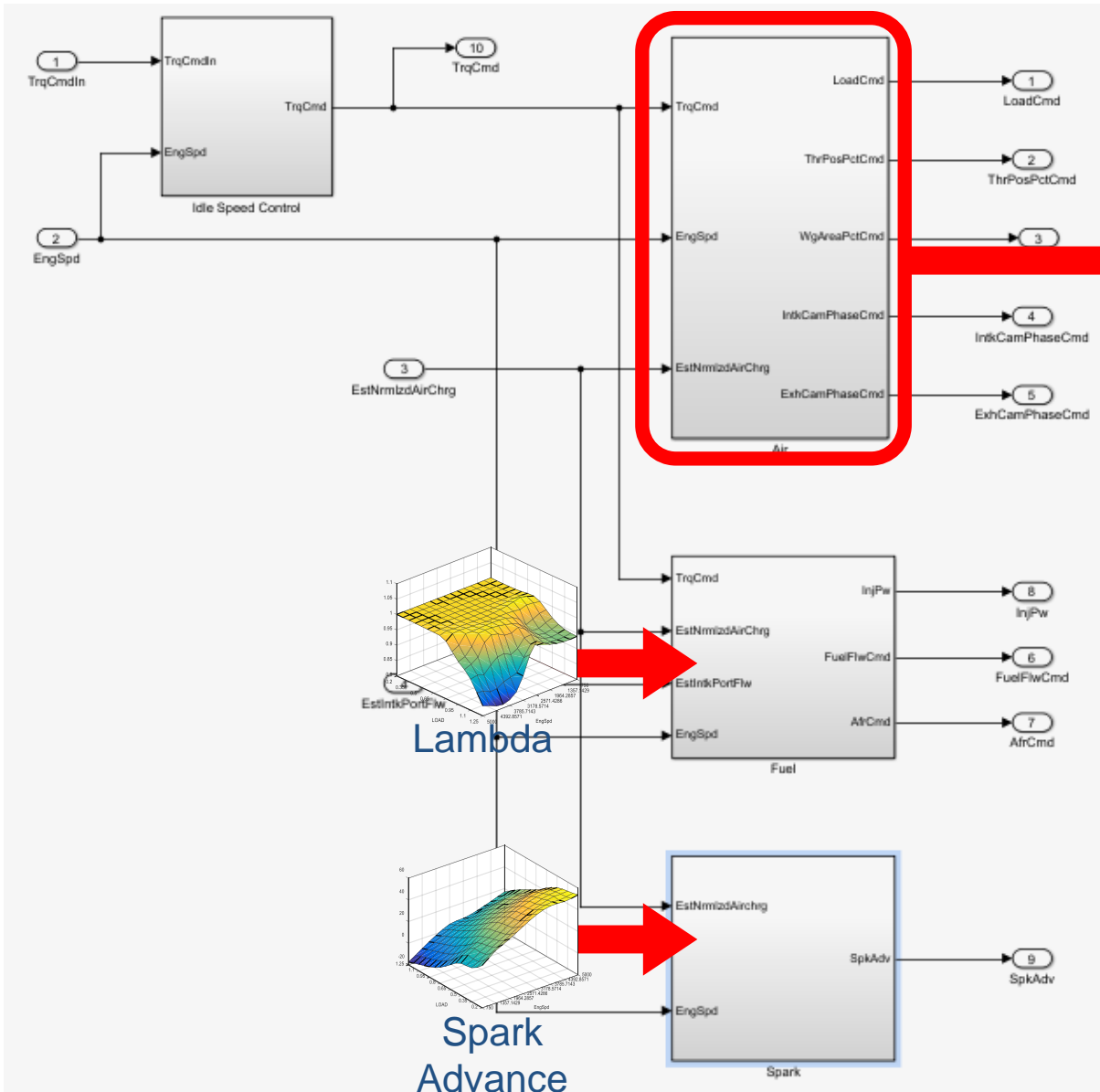


# 发动机基本控制表格的标定

- 发动机基本控制表格的标定流程:
  - 进行试验设计 (DoE)
  - 数据采集
  - 建立基于数据的响应模型
  - 优化运算，生成基本标定。
  - 将标定导入到控制器

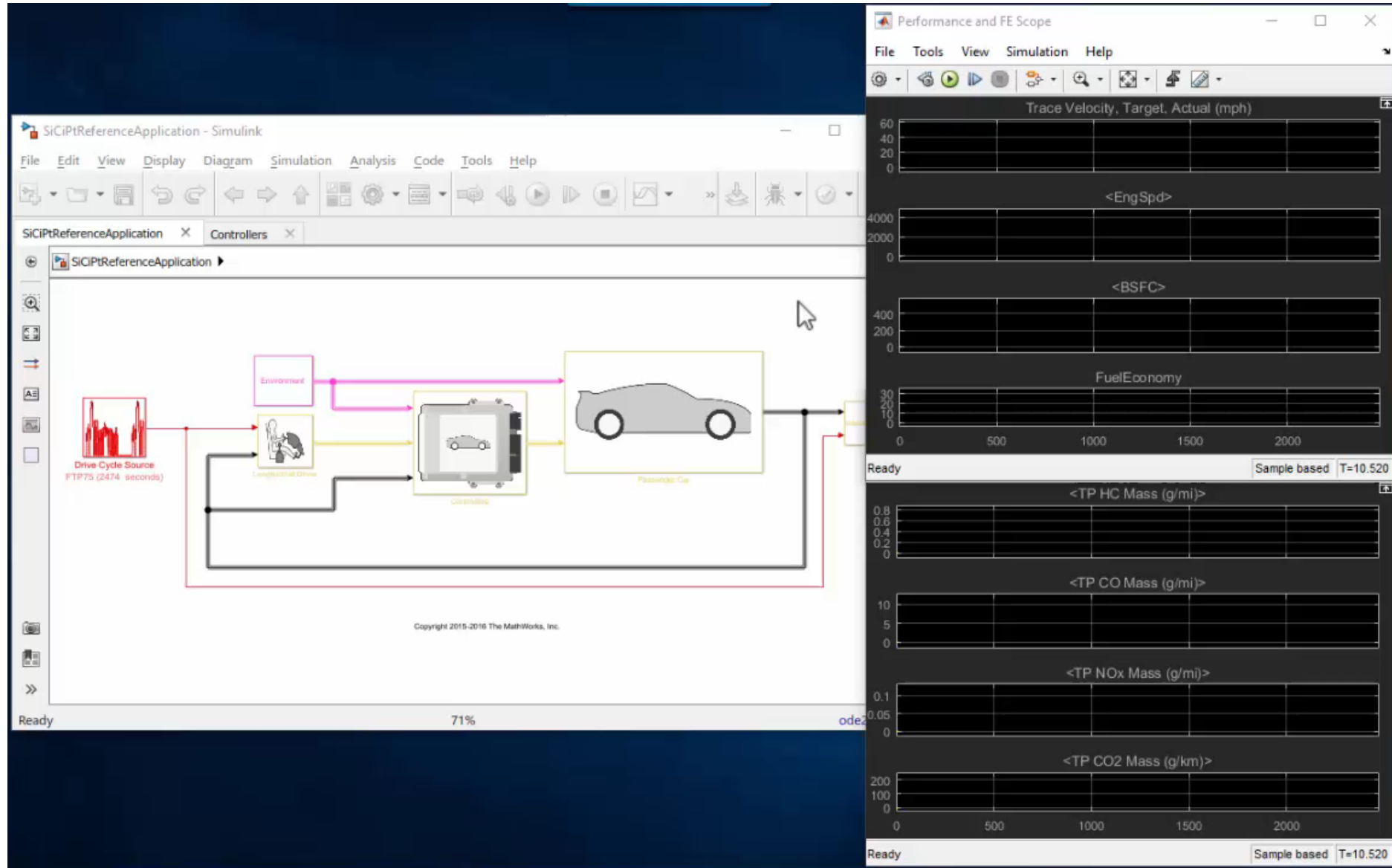


# 优化的发动机基本控制参数表格



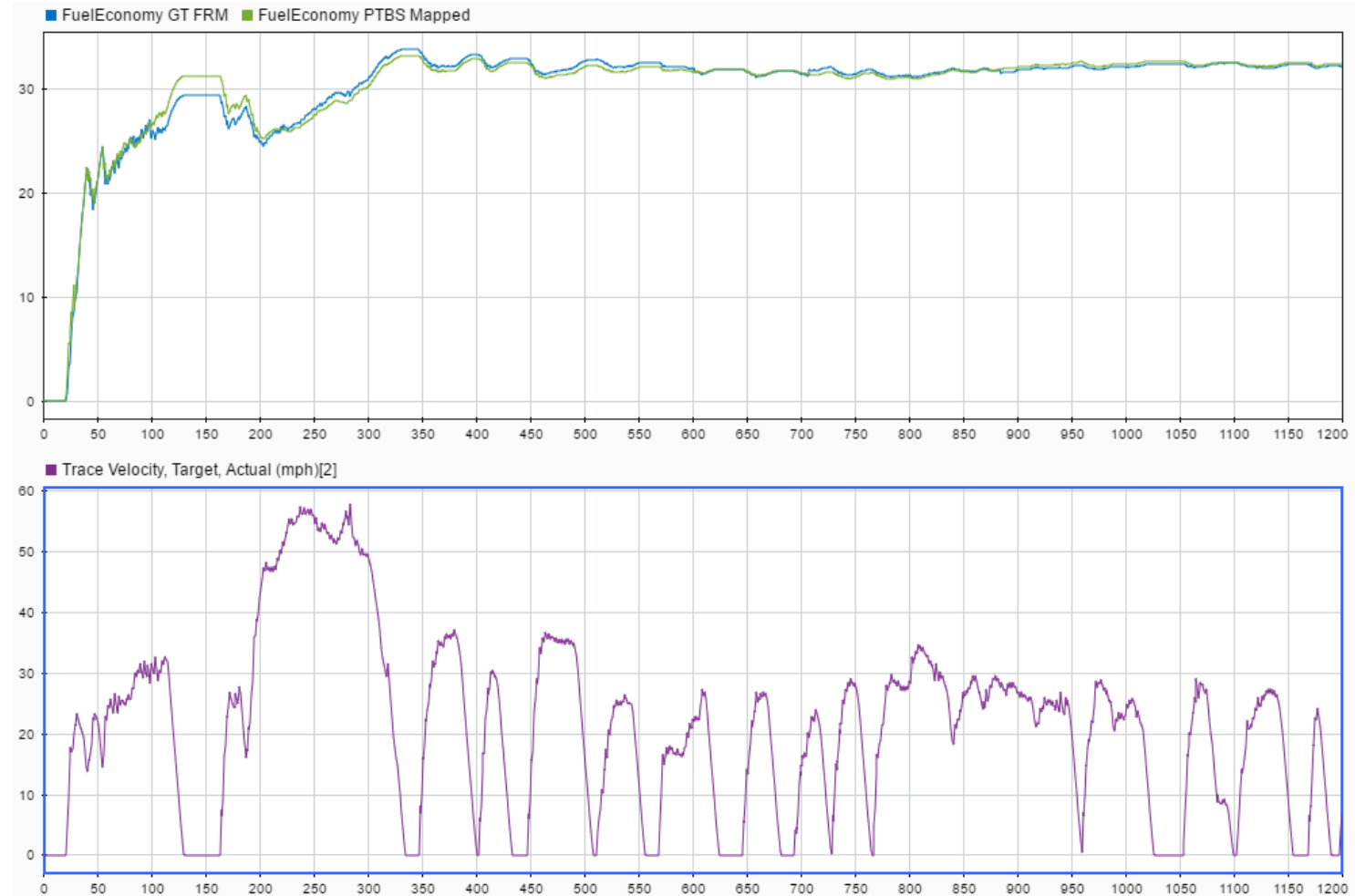


# 验证结果



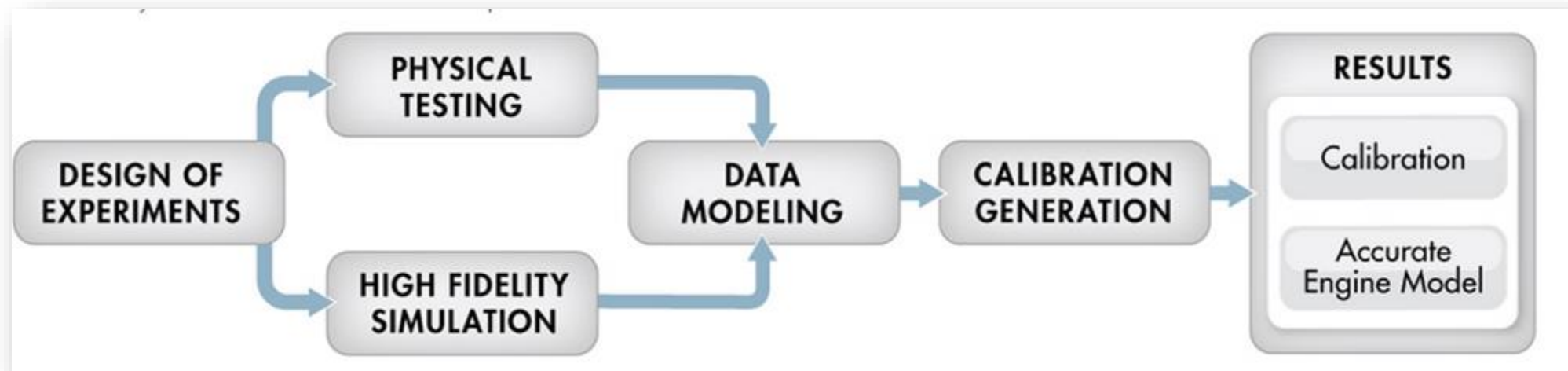
# 验证结果

- 对比Powertrain Blockset 发动机模型与GT-Power 快速仿真模型 (FRM):
  - 燃油消耗0.3% 误差
  - 50x 速度



## 小结

- 使用Model-Based Calibration工具箱，提高建模效率和质量；
- 根据应用实例，客户可以选择自己应用MBC工具箱搭建模型和工具开发；
- 客户也可根据自己需求，选择MathWork的咨询工程服务，获得定制化服务和自动化工具开发支持；



# 内容

- 新能源汽车整车模型的搭建
- 新能源汽车动力总成模型参数设置和控制器标定
- 混合动力汽车油耗仿真和优化
- 永磁电机控制子系统验证

# Powertrain Blockset 系统优化应用

## 加速

- 50 to 100X

- 仿真时间/实时
- 混合动力应用案例

## 效率优化

- 更多驾驶循环和设计参数
- 使用更少资源

## PC, UI

- 容易执行
- Simulink Design Optimization 界面化操作

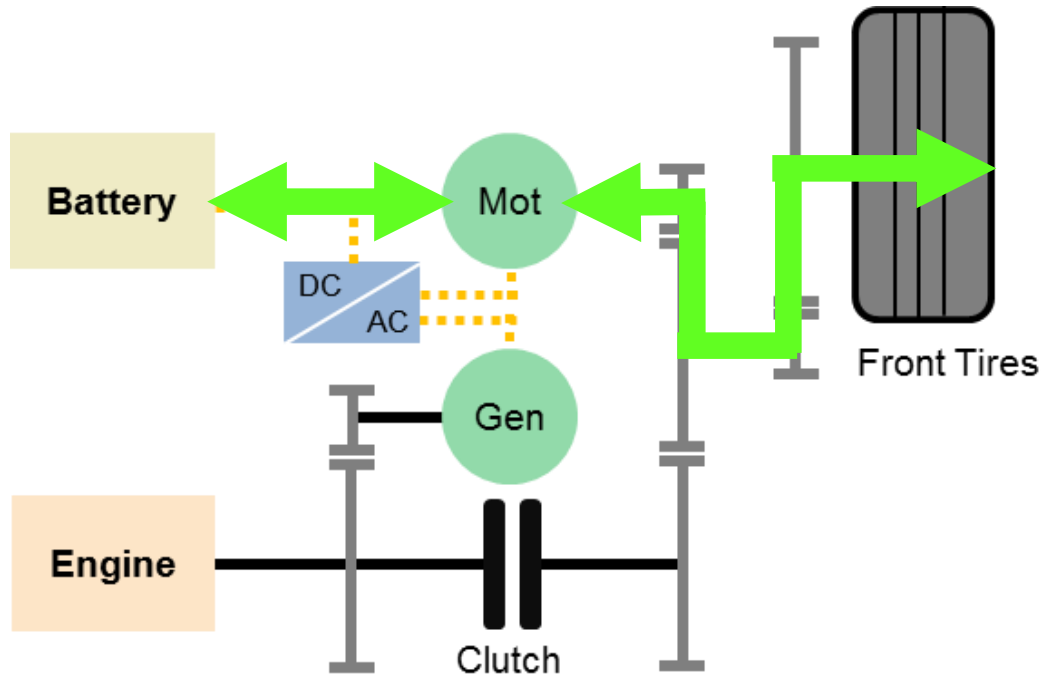
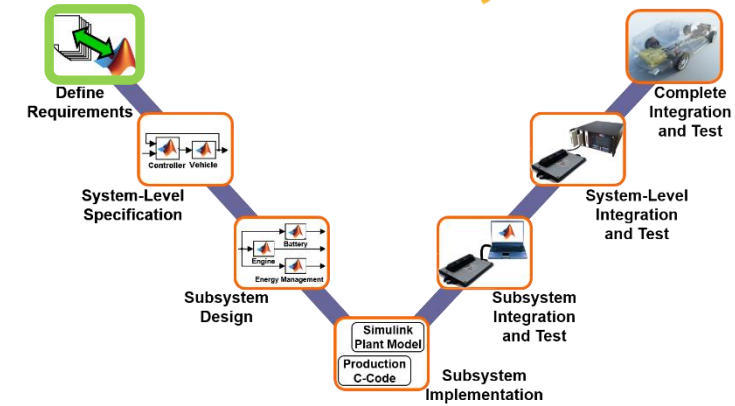
# 多模式 HEV 简介

SAE International

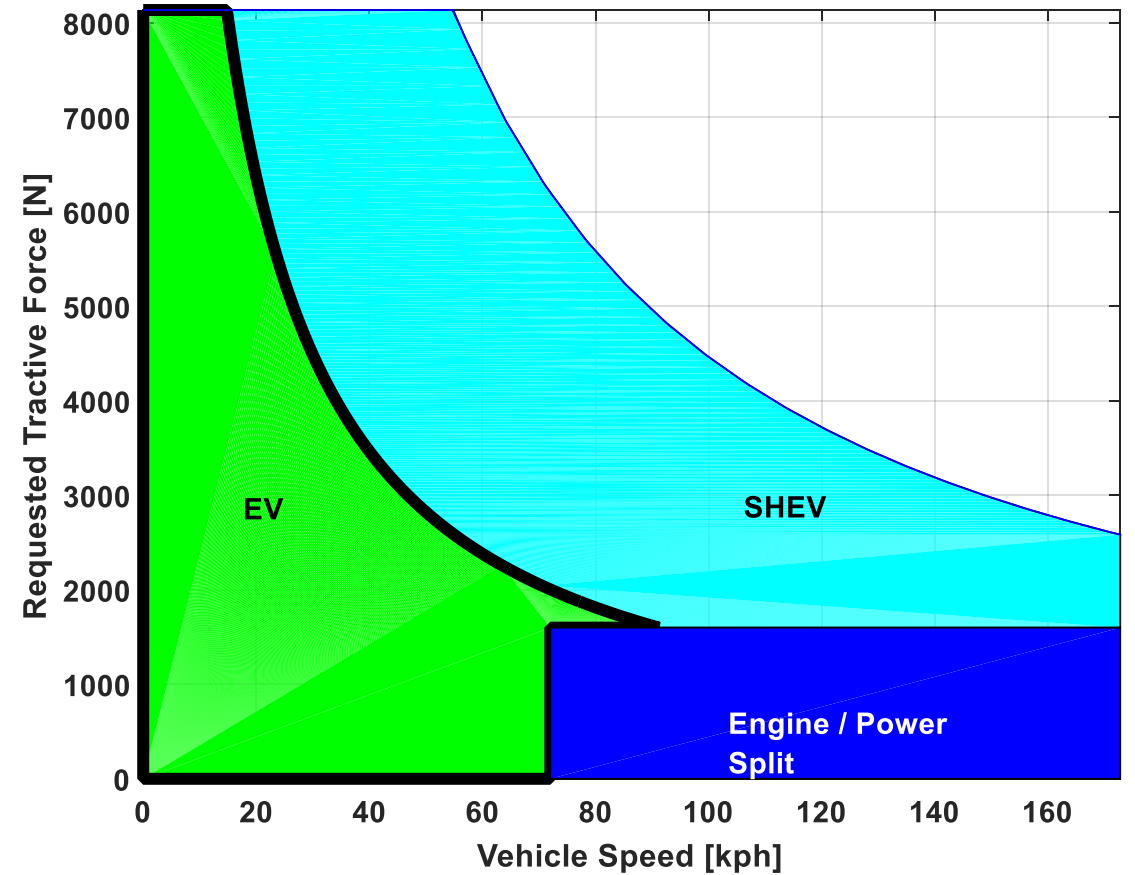
2013-01-1476  
Published 04/08/2013  
Copyright © 2013 SAE International  
doi:10.4271/2013-01-1476  
saealtpow.saejournals.org

## Development of a New Two-Motor Plug-In Hybrid System

Naritomo Higuchi, Yoshihiro Sunaga, Masashi Tanaka and Hiroo Shimada  
Honda R&D Co., Ltd.



纯电动模式



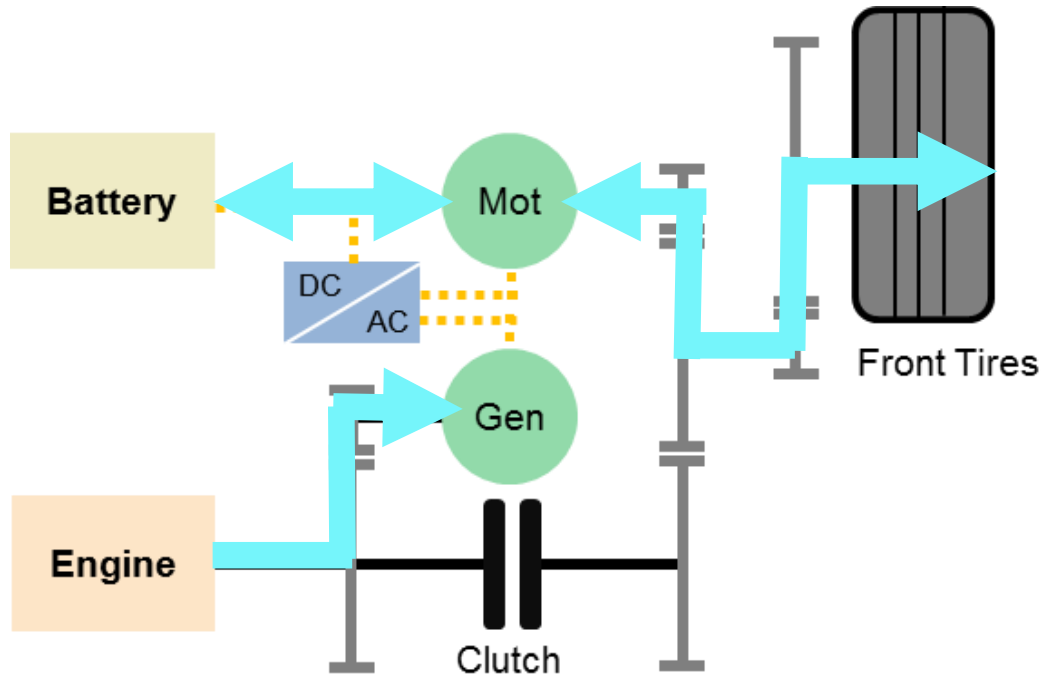
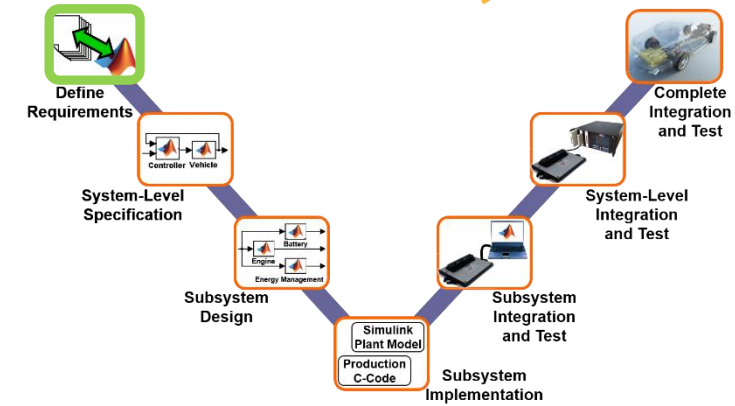
# 多模式 HEV 简介

SAE International

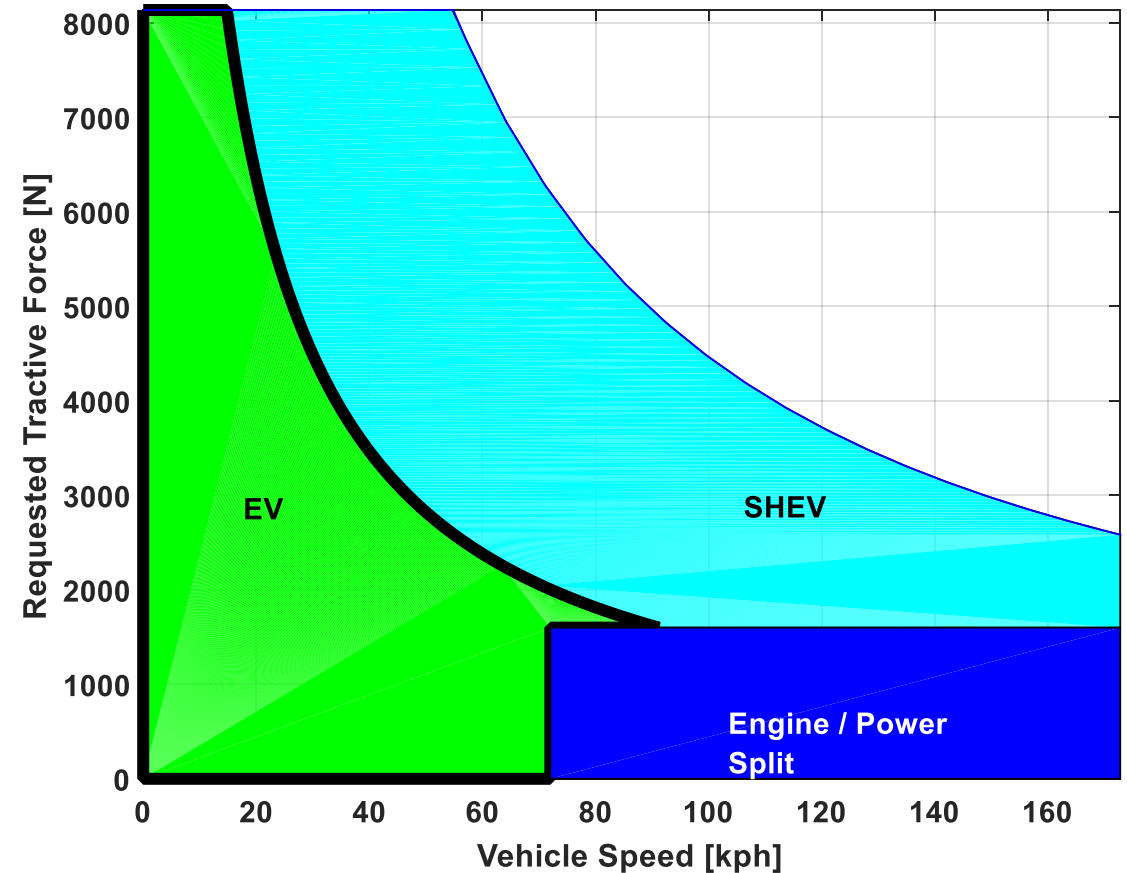
2013-01-1476  
 Published 04/08/2013  
 Copyright © 2013 SAE International  
 doi:10.4271/2013-01-1476  
 saealtpow.saejournals.org

## Development of a New Two-Motor Plug-In Hybrid System

Naritomo Higuchi, Yoshihiro Sunaga, Masashi Tanaka and Hiroo Shimada  
 Honda R&D Co., Ltd.



SHEV混动模式



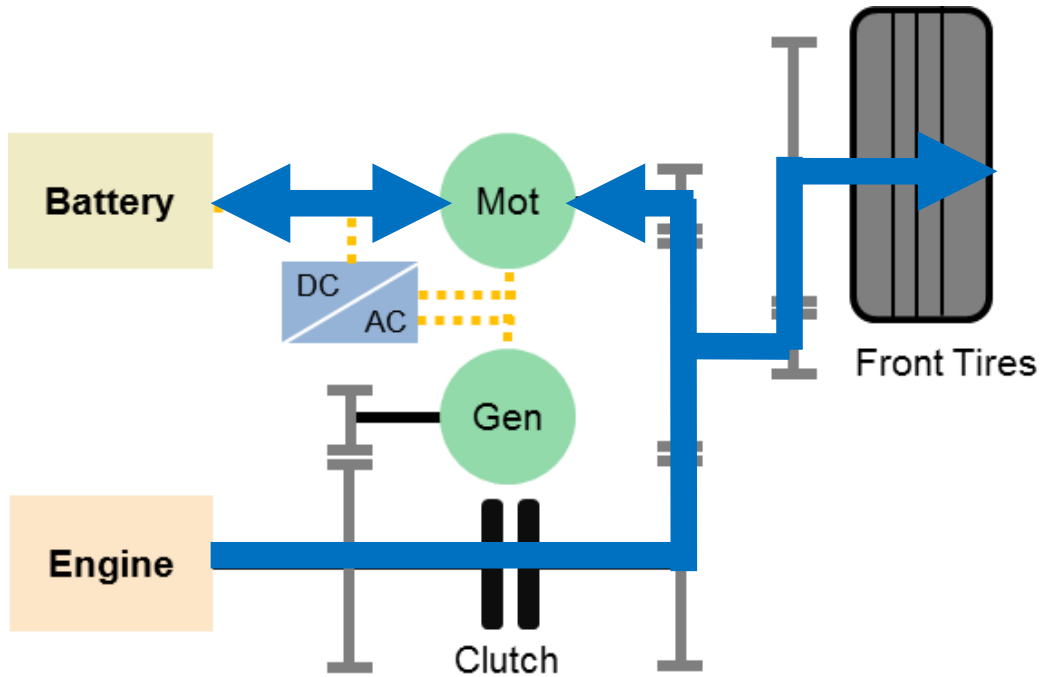
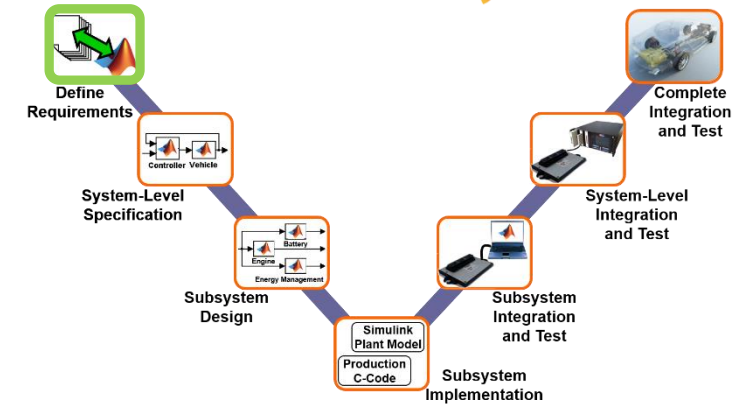
# 多模式 HEV 简介

SAE International

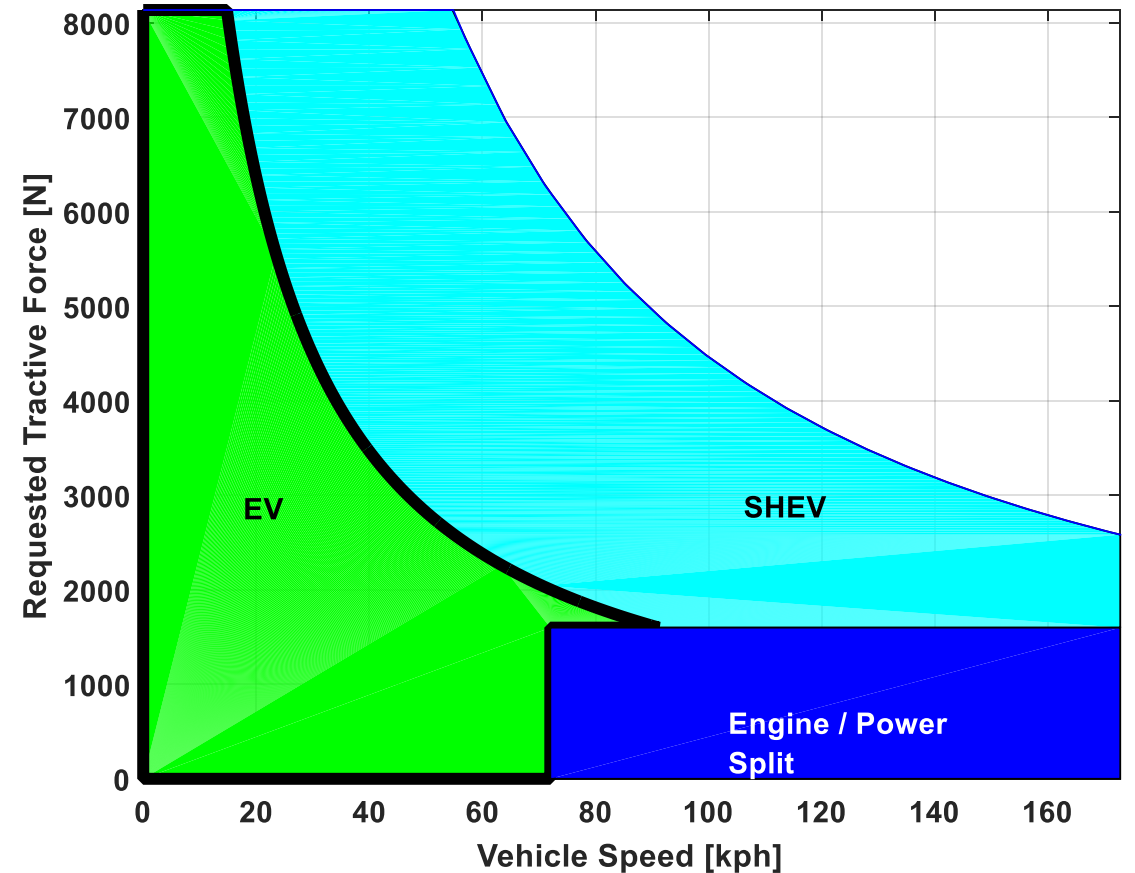
2013-01-1476  
 Published 04/08/2013  
 Copyright © 2013 SAE International  
 doi:10.4271/2013-01-1476  
 saealtpow.saejournals.org

## Development of a New Two-Motor Plug-In Hybrid System

Naritomo Higuchi, Yoshihiro Sunaga, Masashi Tanaka and Hiroo Shimada  
 Honda R&D Co., Ltd.



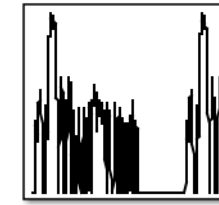
发动机模式



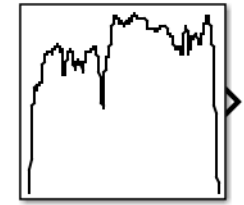


# 混合动力汽车设计优化问题描述

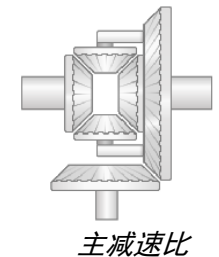
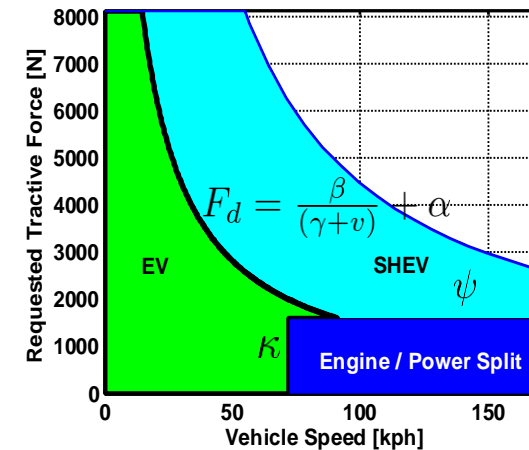
- 最佳燃油经济性 Maximize MPGe
  - FTP75 and HWFET
  - Weighted MPGe = 0.55(FTP75) + 0.45(HWFET)
  
- 优化参数:
  - 5 个控制参数
    - EV, SHEV, Engine mode 模式切换边界条件
  - 1 零部件设计参数
    - 主减速比
  
- 使用PC
  - Simulink Design Optimization (SDO)
  - Parallel Computing Toolbox (PCT)



Drive Cycle Source1  
FTP75 (2474 seconds)

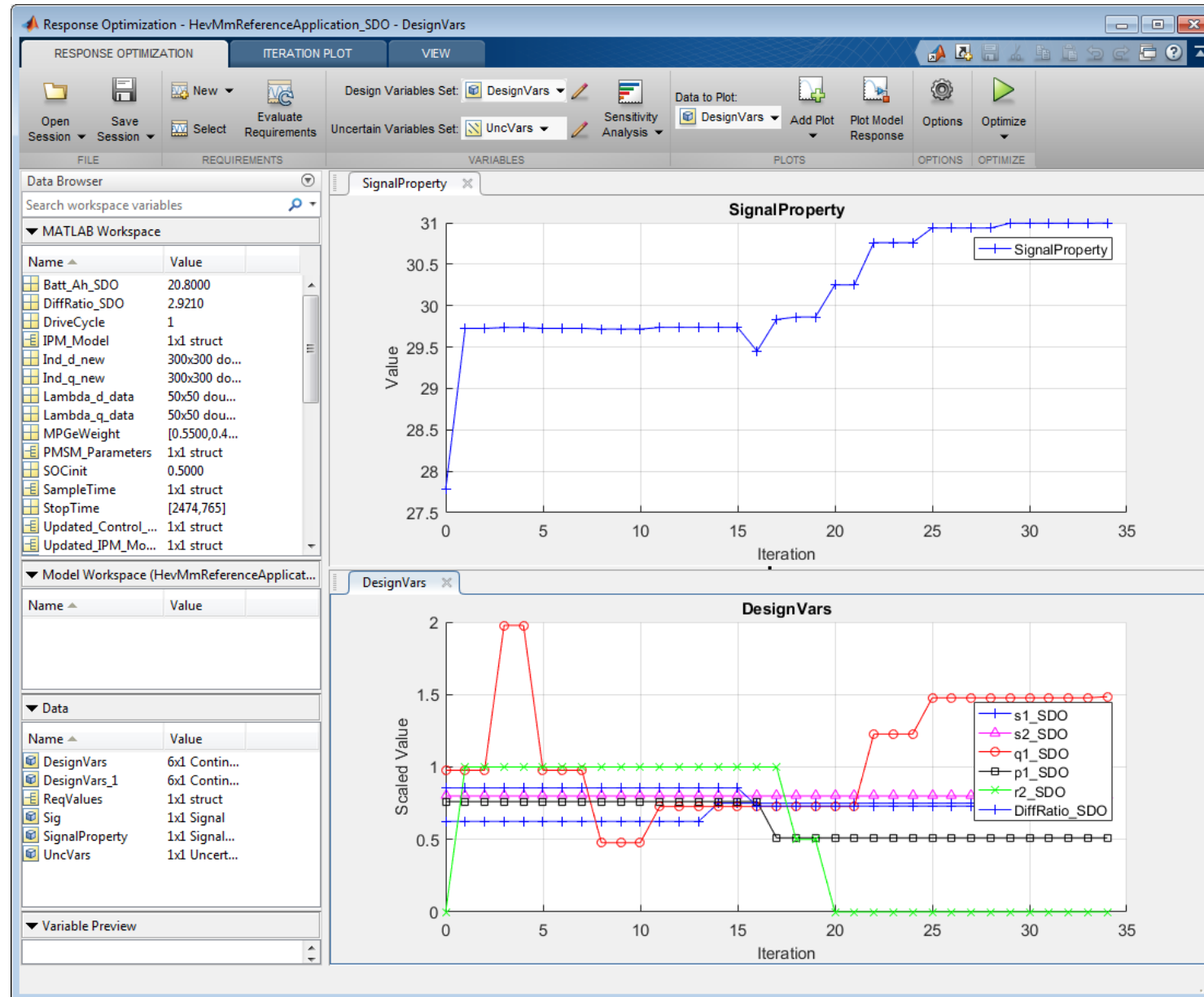


Drive Cycle Source  
HWFET (765 seconds)



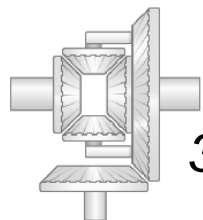
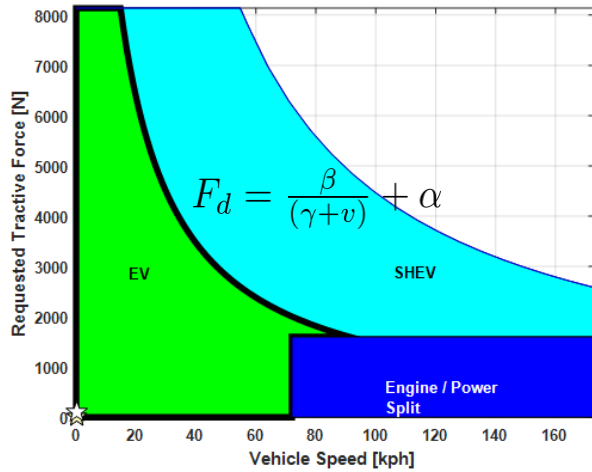
Lenovo ThinkPad T450s  
Dual Core i7 2.60GHz  
12 GB RAM

# 优化结果

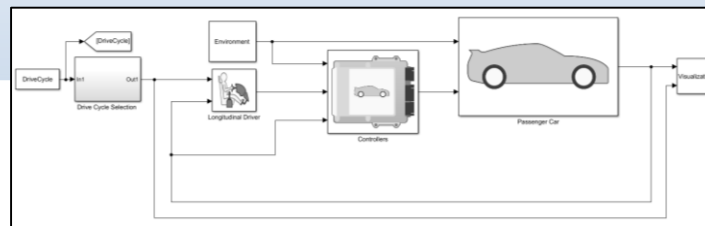
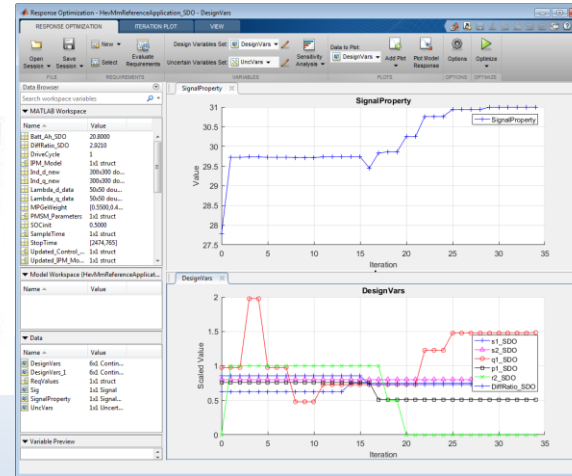


# 优化结果

## Simulink Design Optimization → Response Optimization

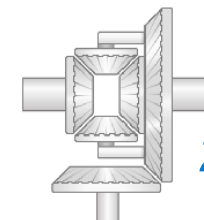
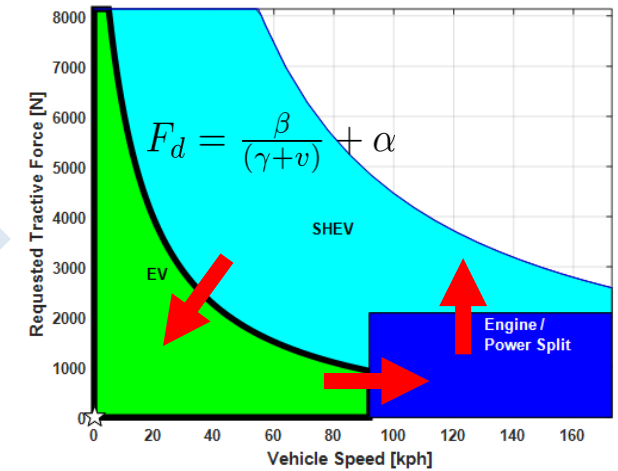


3.42:1



~ 12 Hours

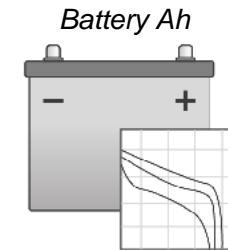
+ 2% MPGe



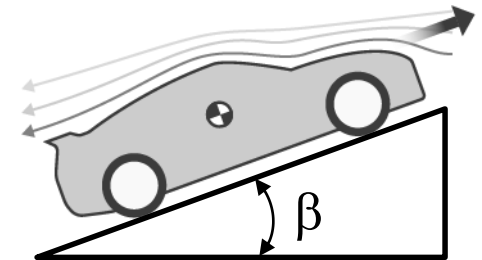
2.92:1

# 问题扩展

- 不同的SOC初始状态
- 电池容量和单体布置
  - Ah rating
  - 并联/串联的电池单体（模块）数量
  - 整车重量
- 坡度
- 设置不同的驾驶循环或驾驶条件, 'Uncertain Variables' in SDO
  - 优化控制的健壮性 (Robustness)
- 验证子系统



# Series, # Parallel ?



# 内容

- 新能源汽车整车模型的搭建
- 新能源汽车动力总成模型参数设置和控制器标定
- 混合动力汽车油耗仿真和优化
- 永磁电机控制子系统验证

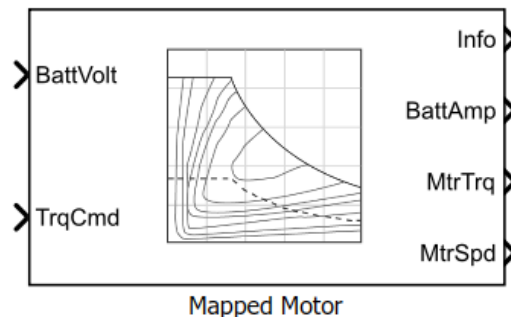
## 验证详细的非线性永磁同步电机控制子系统

- 如何才能知道我的电机控制部分满足整车的性能要求？
- 电机控制子系统和整车控制系统是怎样互相影响的？
- 在一些极端负载情况下，电机控制子系统表现如何？

# 选择不同详细程度的电机控制子系统模型

## ■ 整车控制优化

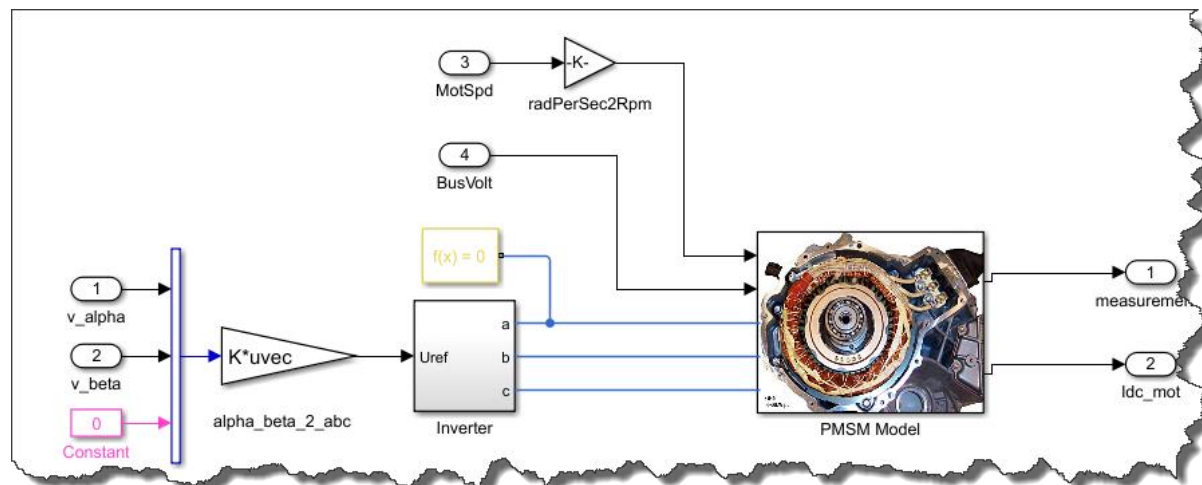
- 目标: 估算油耗
- 要求: 仿真速度快, 参数容易获取
- 模型选择: 经验表格模型 (简单模型)



简单模型 = 转矩--速度平面的逆变器和电机系统的效率表格

## ■ 子系统控制方法验证

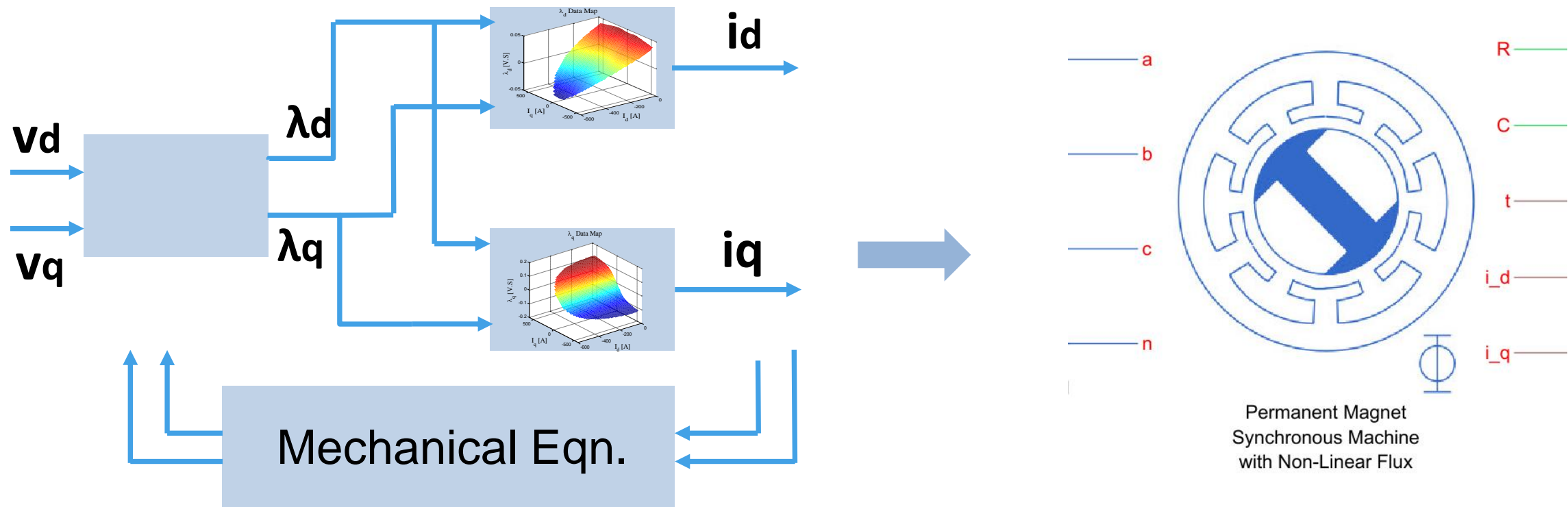
- 目标: 测试子系统和整车间的互相影响
- 要求: 仿真精度高, 子系统包含实际系统的一些非线性因素
- 模型选择: 弱磁控制器和非线性永磁电机 (详细模型)



详细模型 = 弱磁控制系统 + 非线性电机模型

# 详细的非线性永磁同步电机本体模型

- 用有限元分析（FEA）或台架测试得到非线性的磁链到电流的映射表格
- 在Simscape里面建立基于该映射表格的非线性永磁同步电机模型





# 基于弱磁算法的转矩控制器

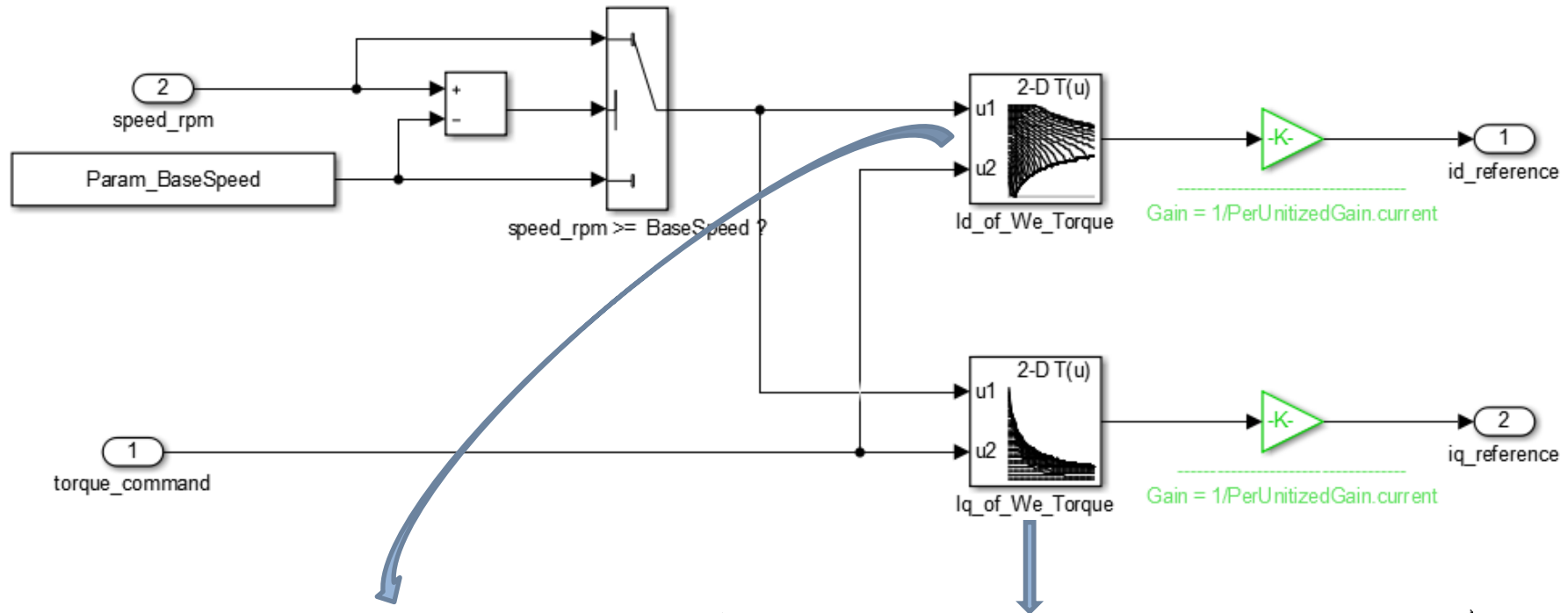


Table and breakpoints data for block: Controller\_Algorithm/Flux-Weakening

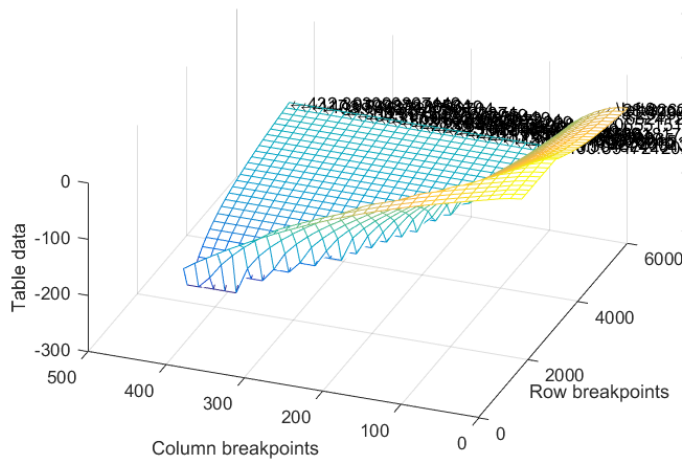
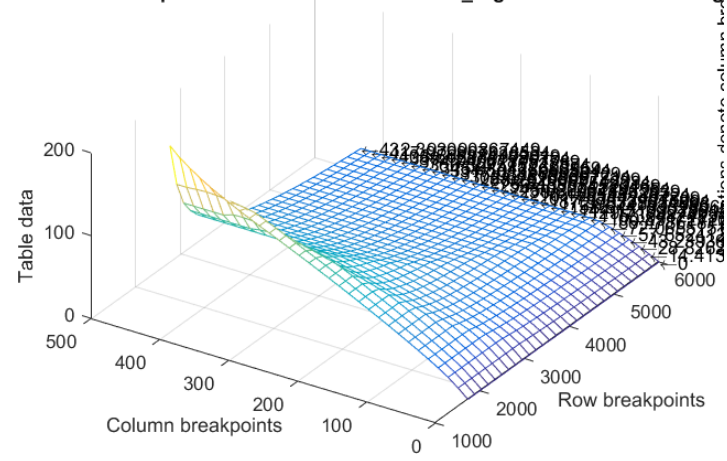
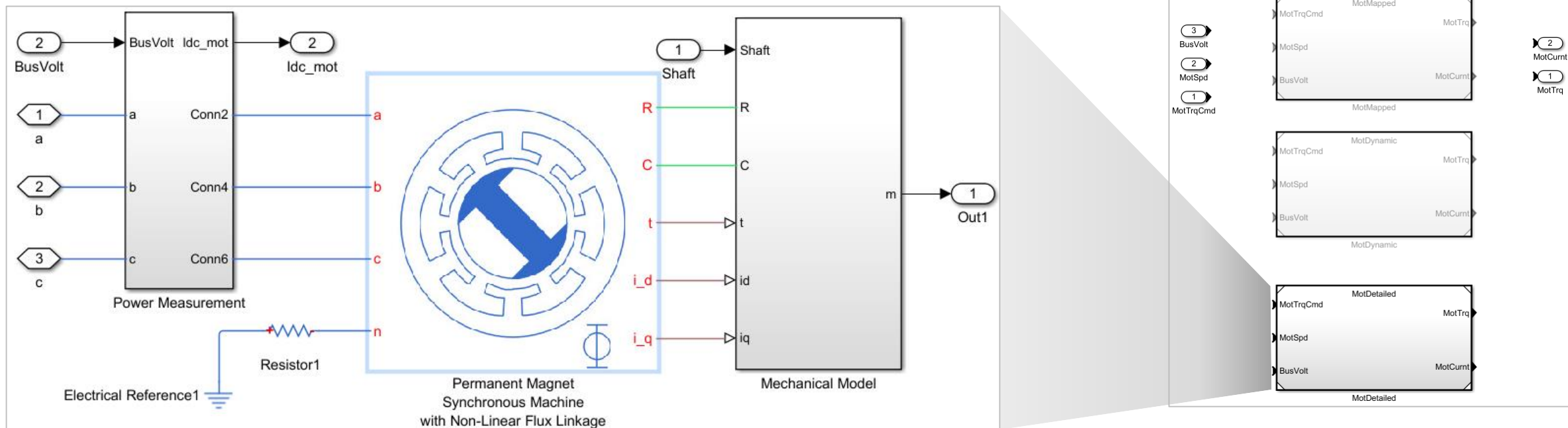
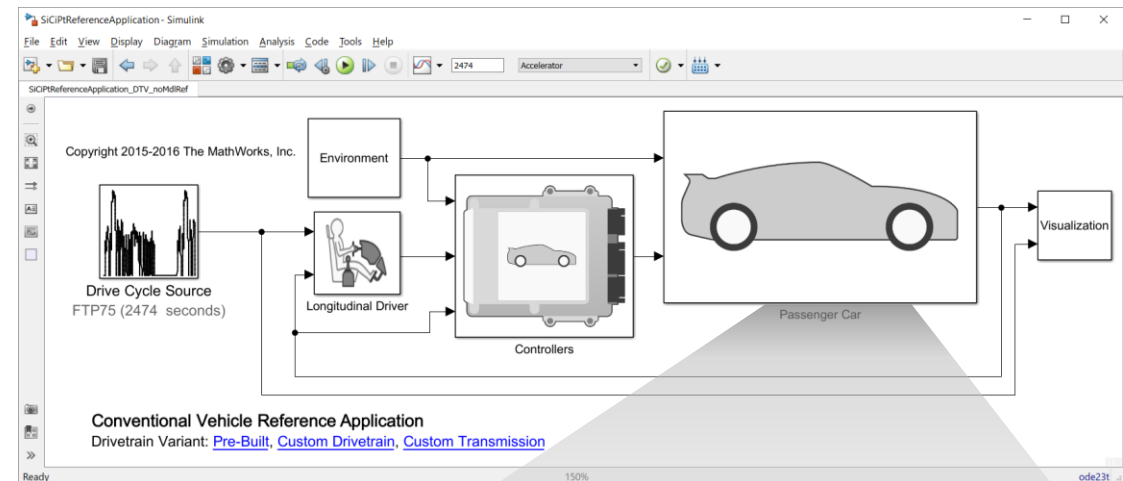


Table and breakpoints data for block: Controller\_Algorithm/Flux-Weakening

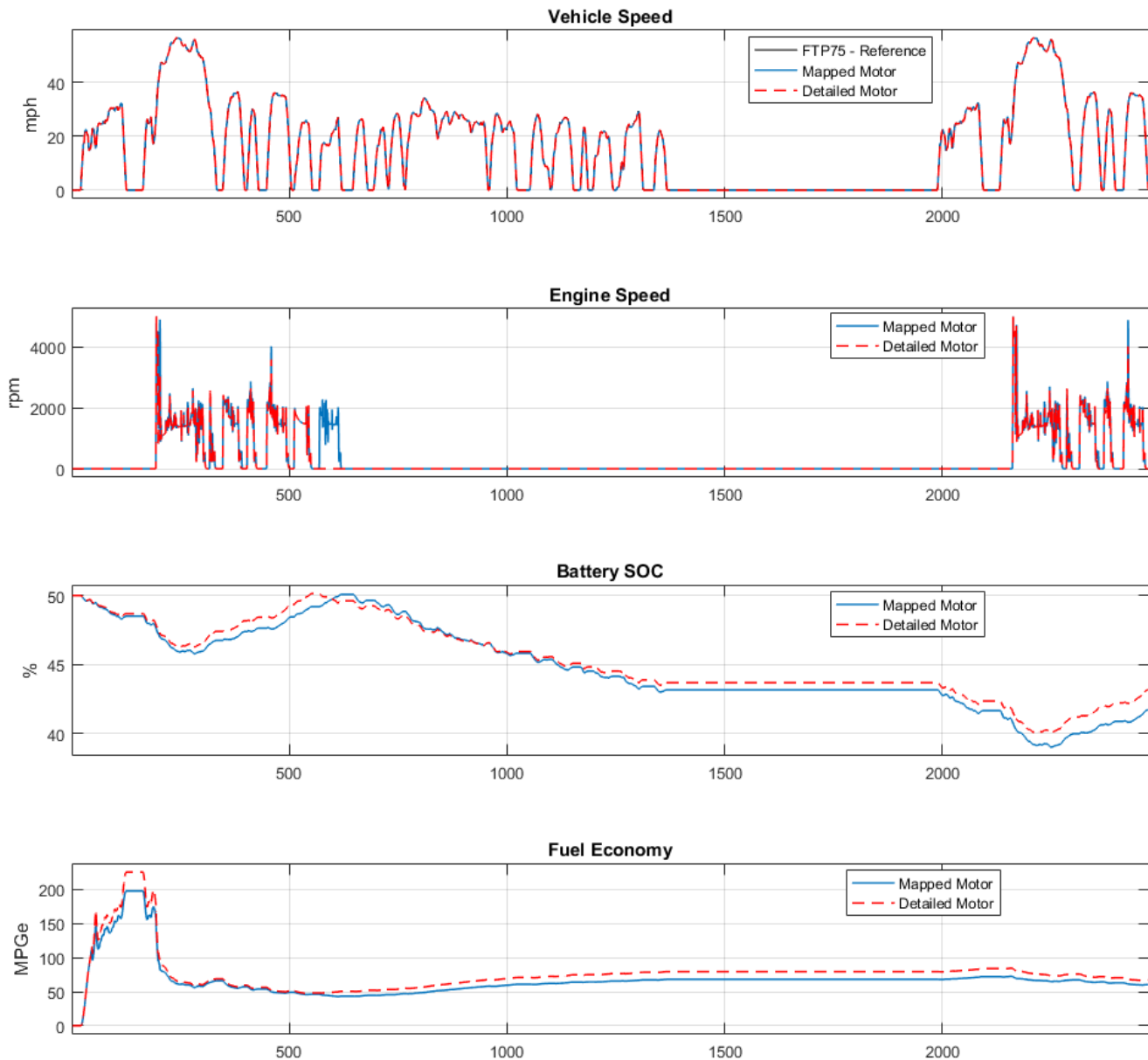


# 在整车模型中添加变量子系统（变体管理）

- 在整车系统中采用变体管理：
  - 方便同类型I/O的不同子系统之间的切换
  - 无需更改模型接口
  - 切换可以用脚本实现



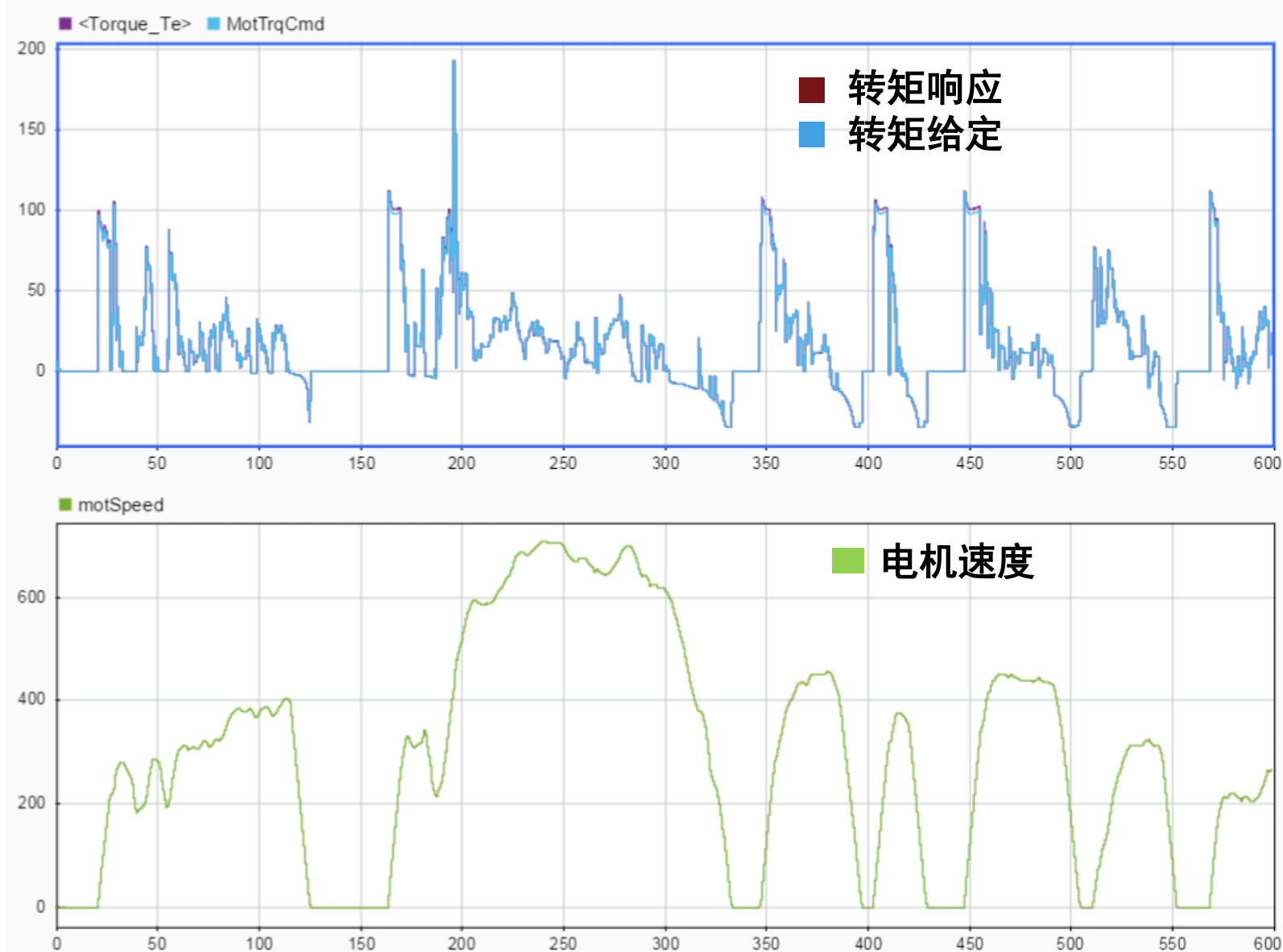
# 详细电机控制子系统和简单模型子系统的仿真对比



| Cycle Name | Final SOC (%) |          | MPGe   |          |
|------------|---------------|----------|--------|----------|
|            | Mapped        | Detailed | Mapped | Detailed |
| HWFET      | 42            | 44       | 50.5   | 51.8     |
| FTP75      | 41.4          | 42.8     | 59.6   | 66.4     |

- 两种不同精度的电机子系统有相似的表现
- 整车的管理控制器能控制不同精度的子系统
- 整车系统为详细子系统验证提供了平台

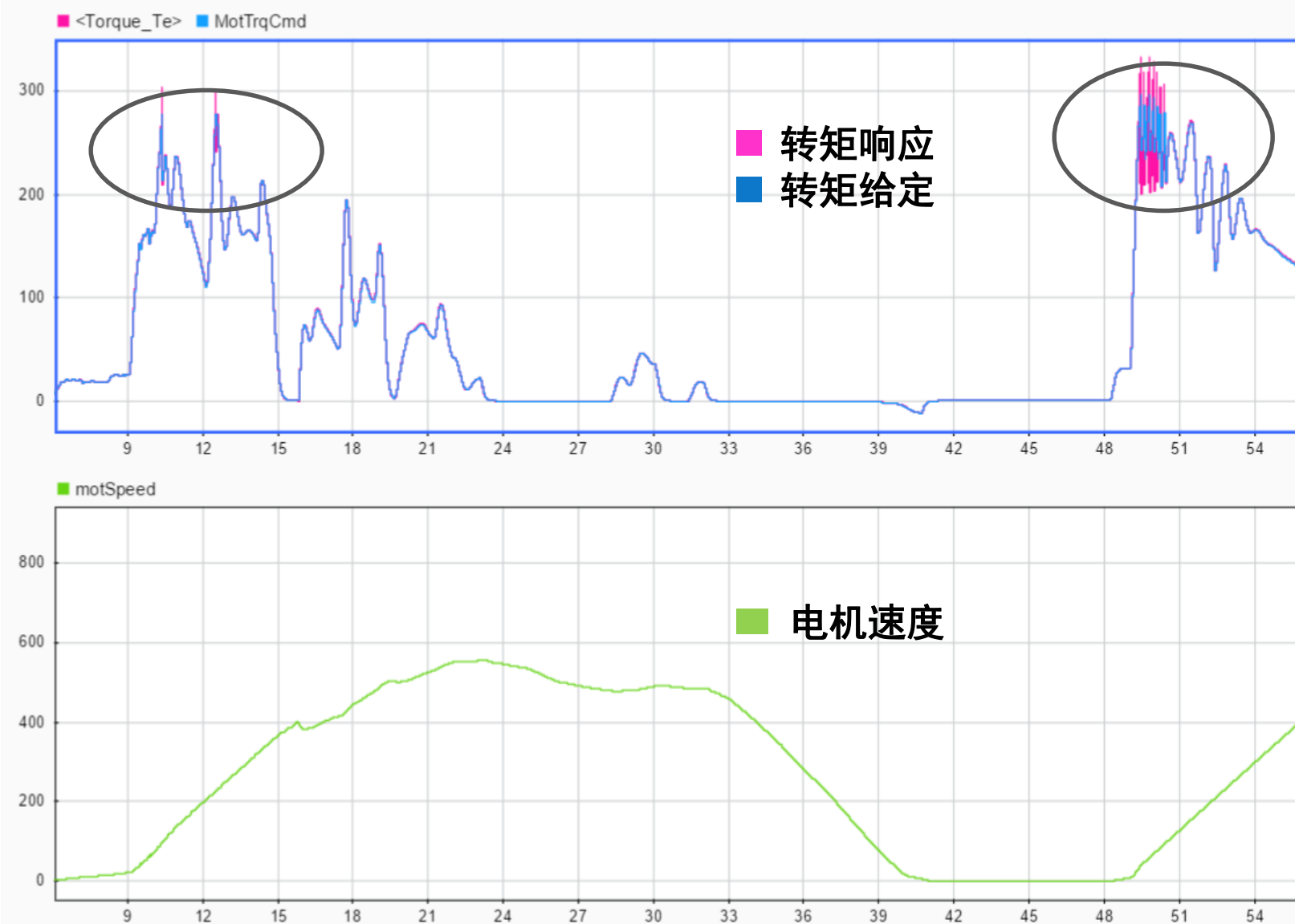
# 详细电机控制子系统验证 – FTP75 Drive Cycle



## FTP75 Drive Cycle

- 在不同的负载速度下，永磁电机的转矩能精确跟踪转矩给定

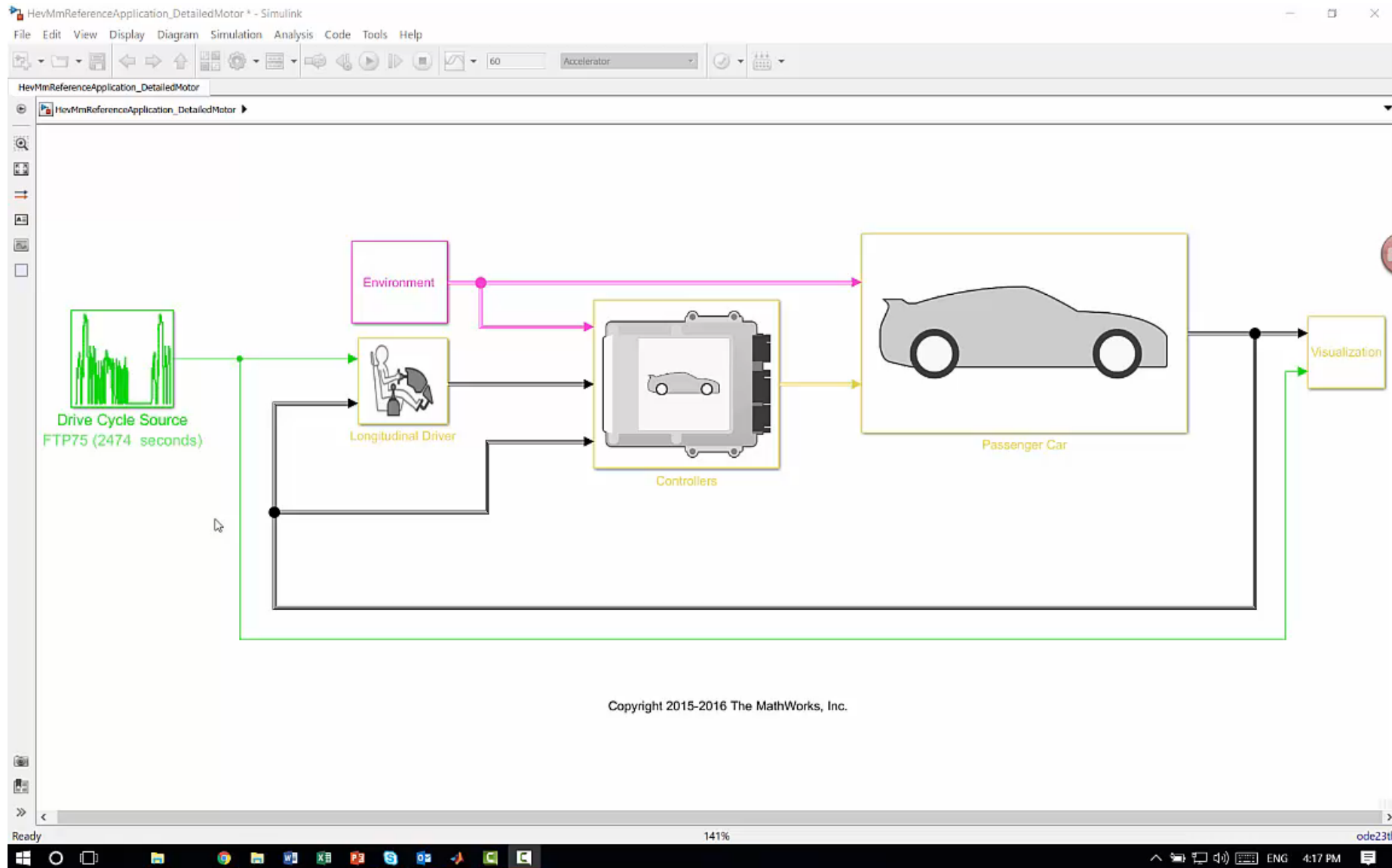
# 详细电机控制子系统验证 – US06 Drive Cycle



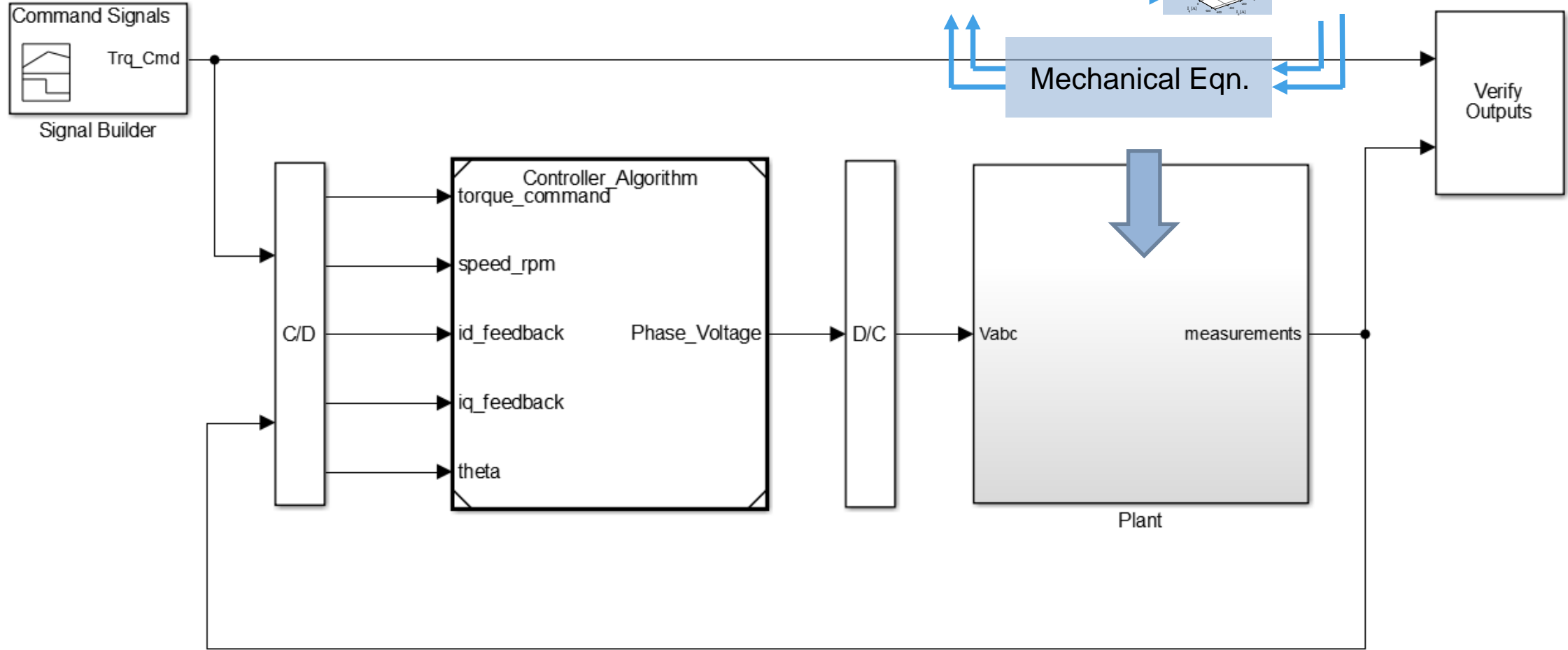
## US06 Drive Cycle

- 更严苛的功率和转矩要求
- 高转矩区，永磁电机的转矩控制出现抖动

# 详细电机控制子系统验证 – US06 Drive Cycle

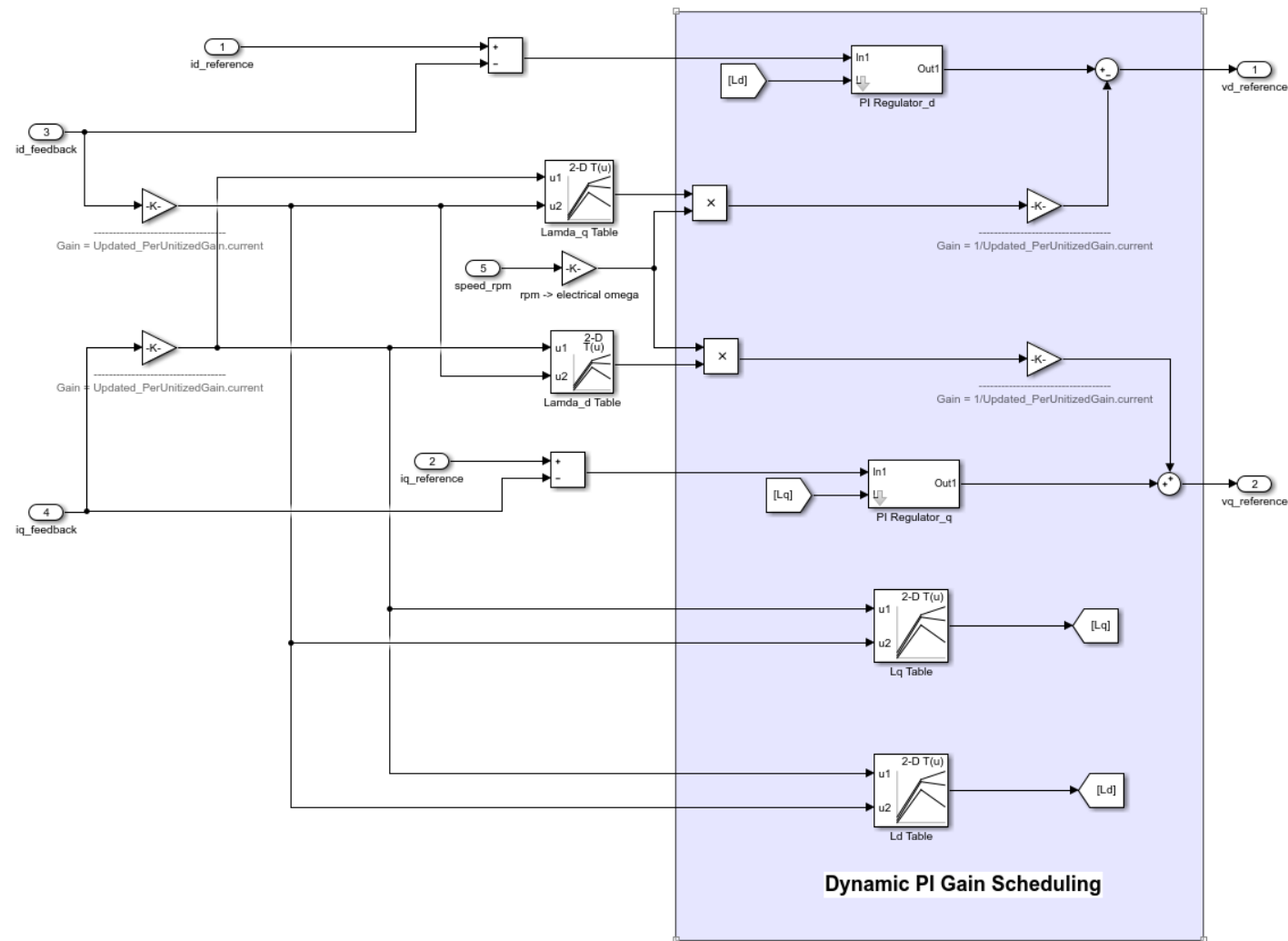
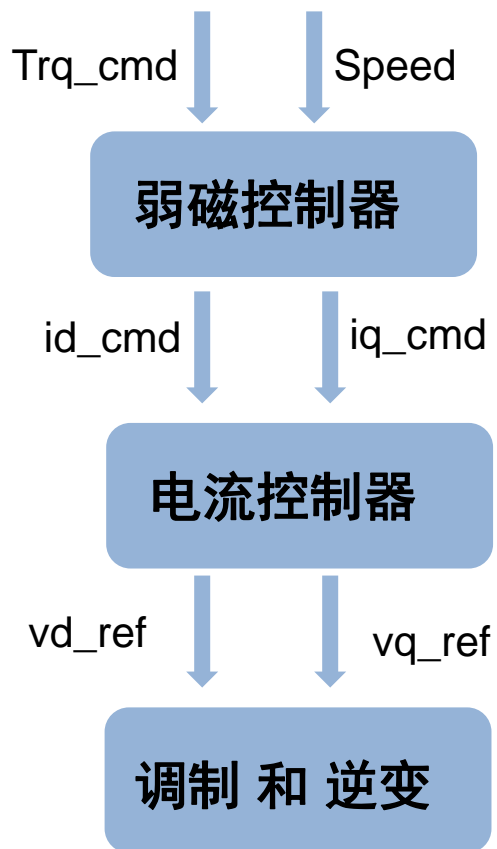


# 转矩控制的抖动从何而来？



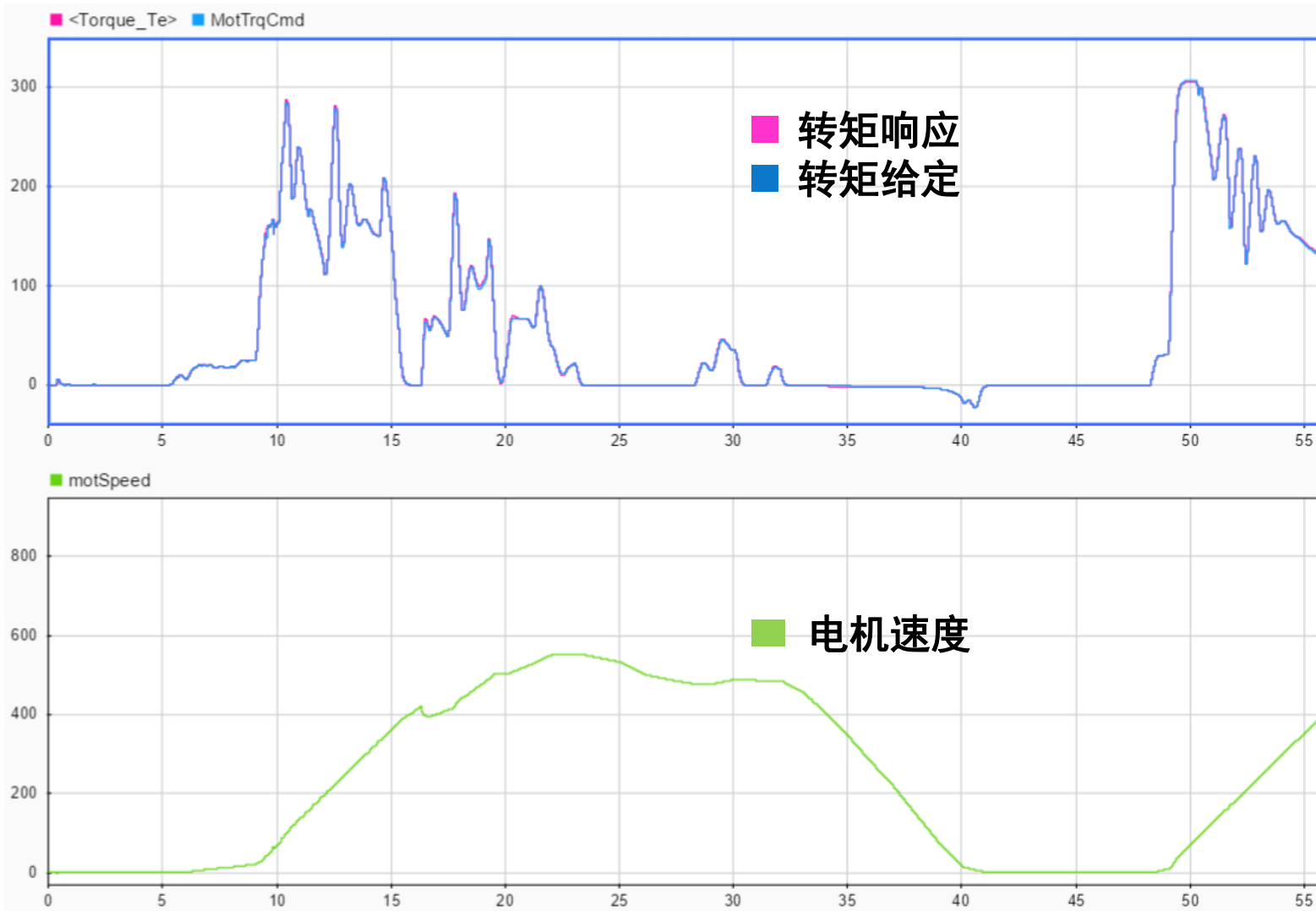
# 控制器改进

- 通过加入动态增益调节模块来提高电流和转矩控制的稳定性





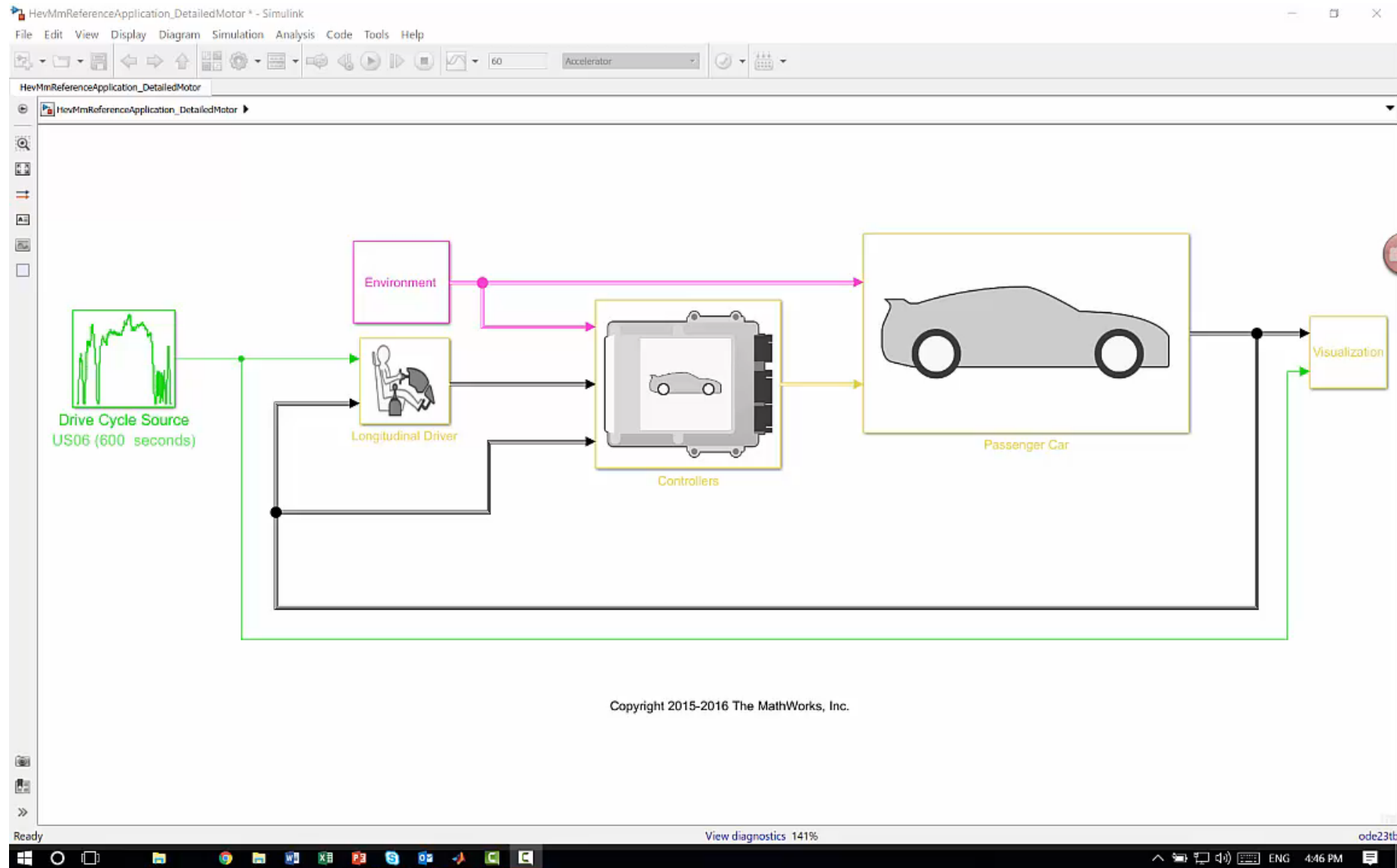
# 详细电机控制子系统验证 – US06 Drive Cycle



## US06 Drive Cycle

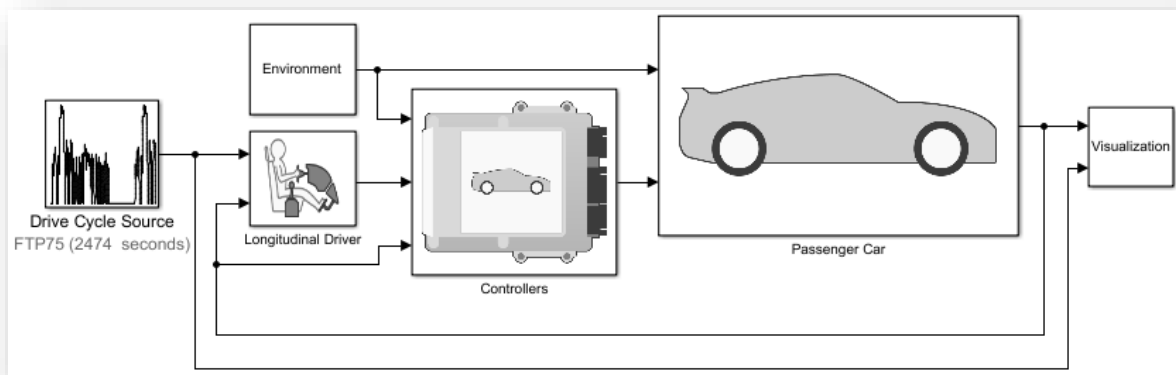
- 加入动态增益调节模块后，高负载转矩区，电流和转矩得到了稳定控制

# 详细电机控制子系统验证 – 电流环动态增益调节

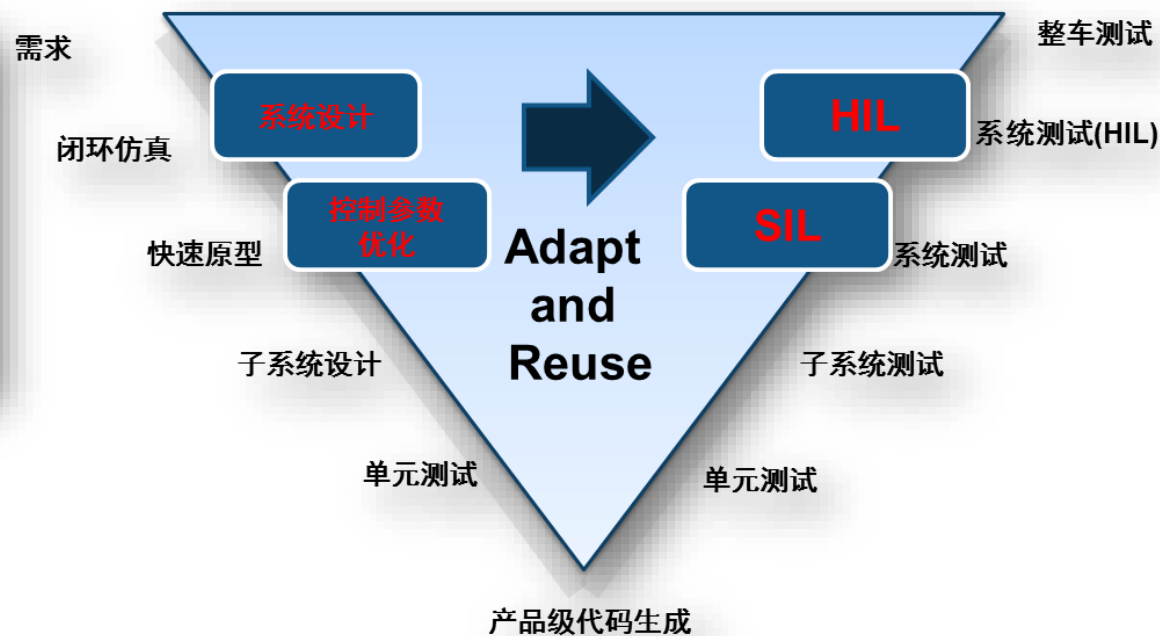


## 总结

- Powertrain Blockset提供了快速搭建整车动力总车模型的零部件模块和控制  
器模块；
- 仿真速度快，仿真时间的缩短可以用较少资源有效进行优化运算；
- Powertrain Blockset 能与高精度子系统模型结合，进行系统级测试和验证；



- 一个环境



# Thank you

胡洪祥

[vincent.hu@mathworks.cn](mailto:vincent.hu@mathworks.cn)

胡大凯

[dakai.hu@mathworks.com](mailto:dakai.hu@mathworks.com)