



博世华域转向系统有限公司

基于MATLAB平台的虚拟车辆验证转向系统可靠性

胡桃华 博世华域



MATLAB EXPO

关于博世华域

About BOSCU HUAYU

股东
双方



BOSCH

Invented for life

全球No.1汽车零部件供应商



上汽集团
SAIC MOTOR
中国NO.1汽车集团

罗伯特博世汽车转向系统有限责任公司

Robert Bosch Automotive Steering GmbH

华域汽车系统股份有限公司

HUAYU Automotive Systems Co., Ltd.

51%

49%

博世华域转向系统有限公司

BOSCH HUAYU STEERING SYSTEMS CO., LTD.

博世华域转向系统
(武汉) 有限公司

博世华域转向系统
(烟台) 有限公司

博世华域转向系统
有限公司南京分公司

- ✓ 世界**500强**企业组成的合资公司
- ✓ 中国汽车市场产品占有率**第一 31%**
- ✓ 一个中心三地工厂 + 四地研发中心
- ✓ 高新技术企业
- ✓ 工业 **4.0**智能制造工厂
- ✓ 绿色标杆工厂
- ✓ 中国**最大**转向系统软件开发中心



大研发 Advanced Technology

□ 博世转向全球第二大研发中心

The 2nd biggest R&D center of Bosch AS division worldwide

□ 博世转向全球EPS_c研发能力中心

EPS_c Competence Center of Bosch AS division worldwide

□ 中国综合能力最强、产品系列最全的EPS研发中心

EPS R&D center with the strongest comprehensive capabilities in China covering all the product types



- 100%本土HE平台开发能力
- 100% 硬件&软件平台开发能力
- 样件测试认可及整车测试能力
- 本地自研芯片开发能力



博世华域市场 BHSS Market Overview



主要客户

— Main Customers —



销售额连续3年两位数增长
市场占有率 31%

超过30+整车企业
提供产品配套服务

目录

Part1

- 背景

Part2

- 转向系统零部件模型搭建以及与试验标定对比

Part3

- 转向系统总成的集成以及与台架试验结果对比

Part4

- 集成整车环境的转向系统总成以及与整车试验结果对比

Part5

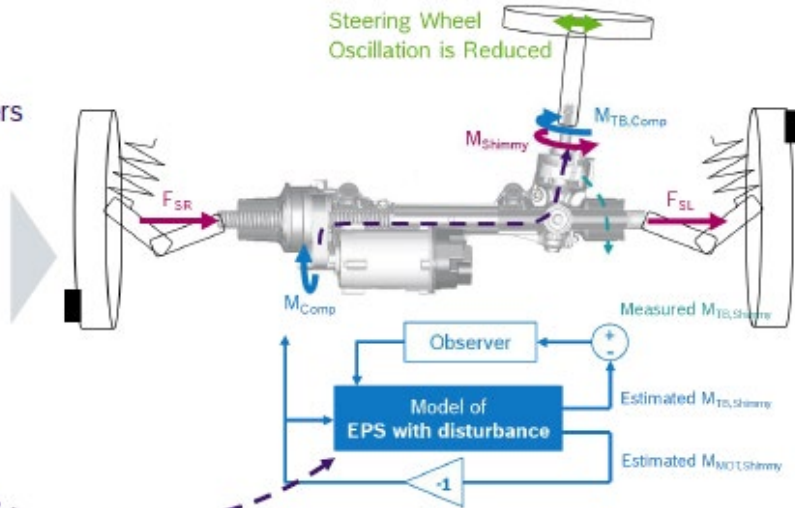
- 总成环境下考虑各关键变量因素下的蒙特卡洛仿真

背景

• Shimmy Compensation

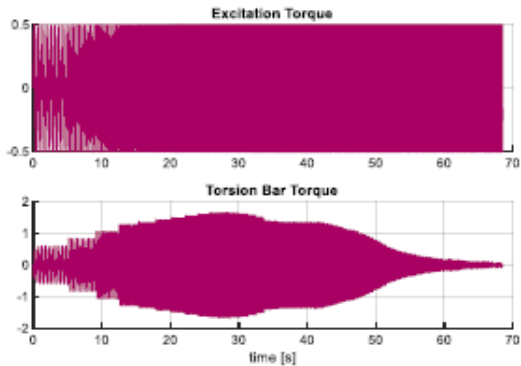
Identify Parameters

```
xShimmy_A11_XDS16
xShimmy_A21_XDS16
xShimmy_A31_XDS16
xShimmy_A12_XDS16
xShimmy_A13_XDS16
xShimmy_A23_XDS16
xShimmy_B11_XDS16
xShimmy_C1_XDS16
...
```

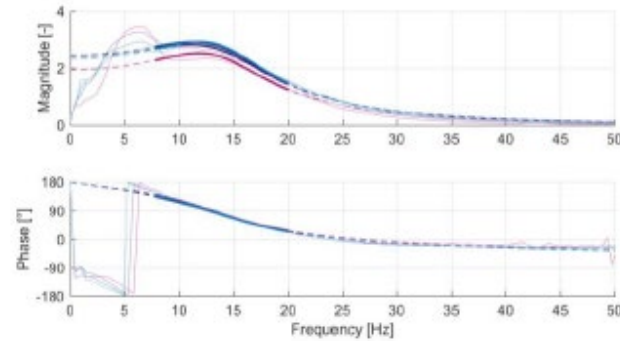


该图片来自内部文档-CAE2000774

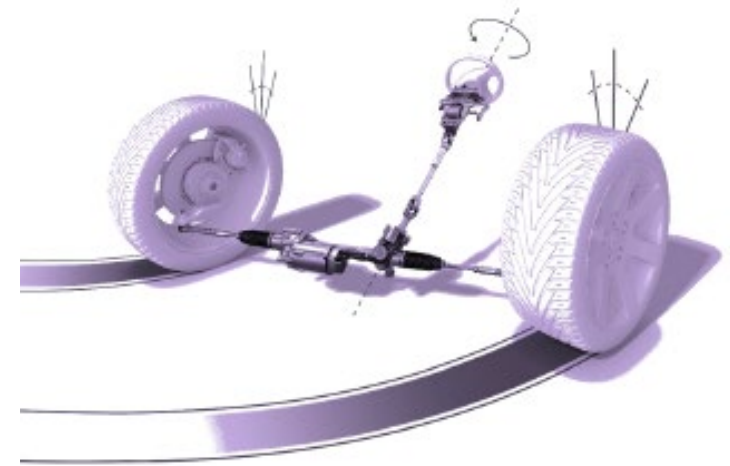
1. Perform Identification Simulation



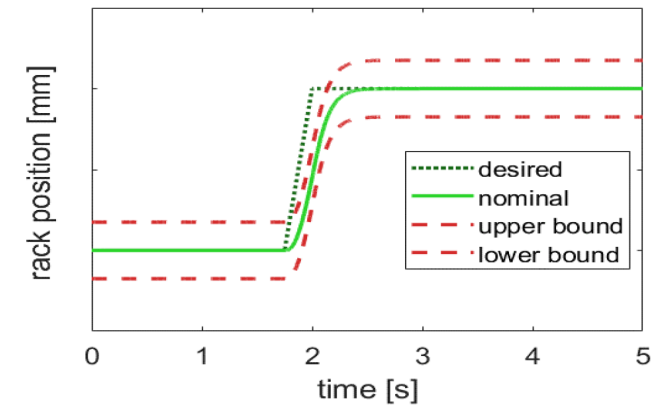
2. Identify Model



• Rack Position Control performance



该图片来自内部文档-CAE2101162



背景

成本：

- 测试成本最小化
- 尽早消除软件问题



质量：

- 增加测试覆盖率
- 提高测试系统的可用性
- 使客户能够进行HAD验证



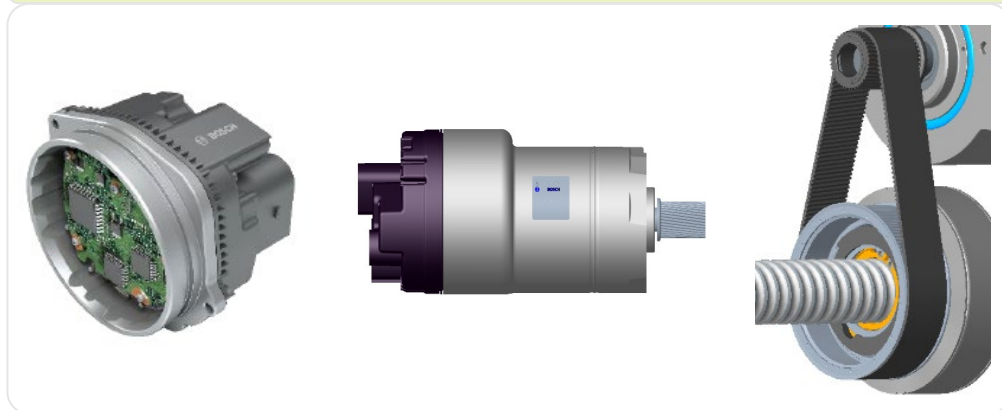
时间：

- 早期测试用例执行软件释放
- 缩短测试时间



可靠性验证基本思路

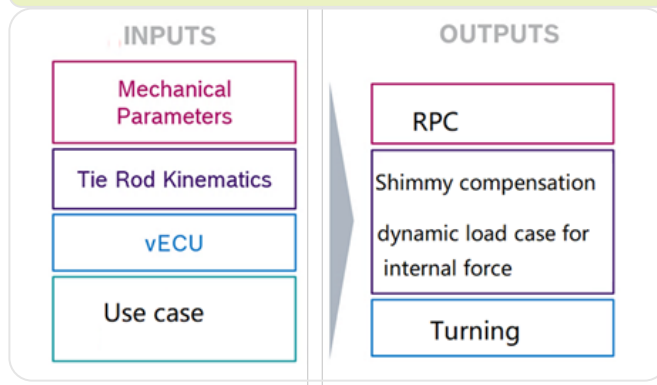
转向系统部件的模型搭建



转向系统总成的集成



虚拟验证转向系统性能



集成虚拟整车环境的转向系统总成



目录

Part1

- 背景

Part2

- 转向系统零部件模型搭建以及与试验标定对比

Part3

- 转向系统总成的集成以及与台架试验结果对比

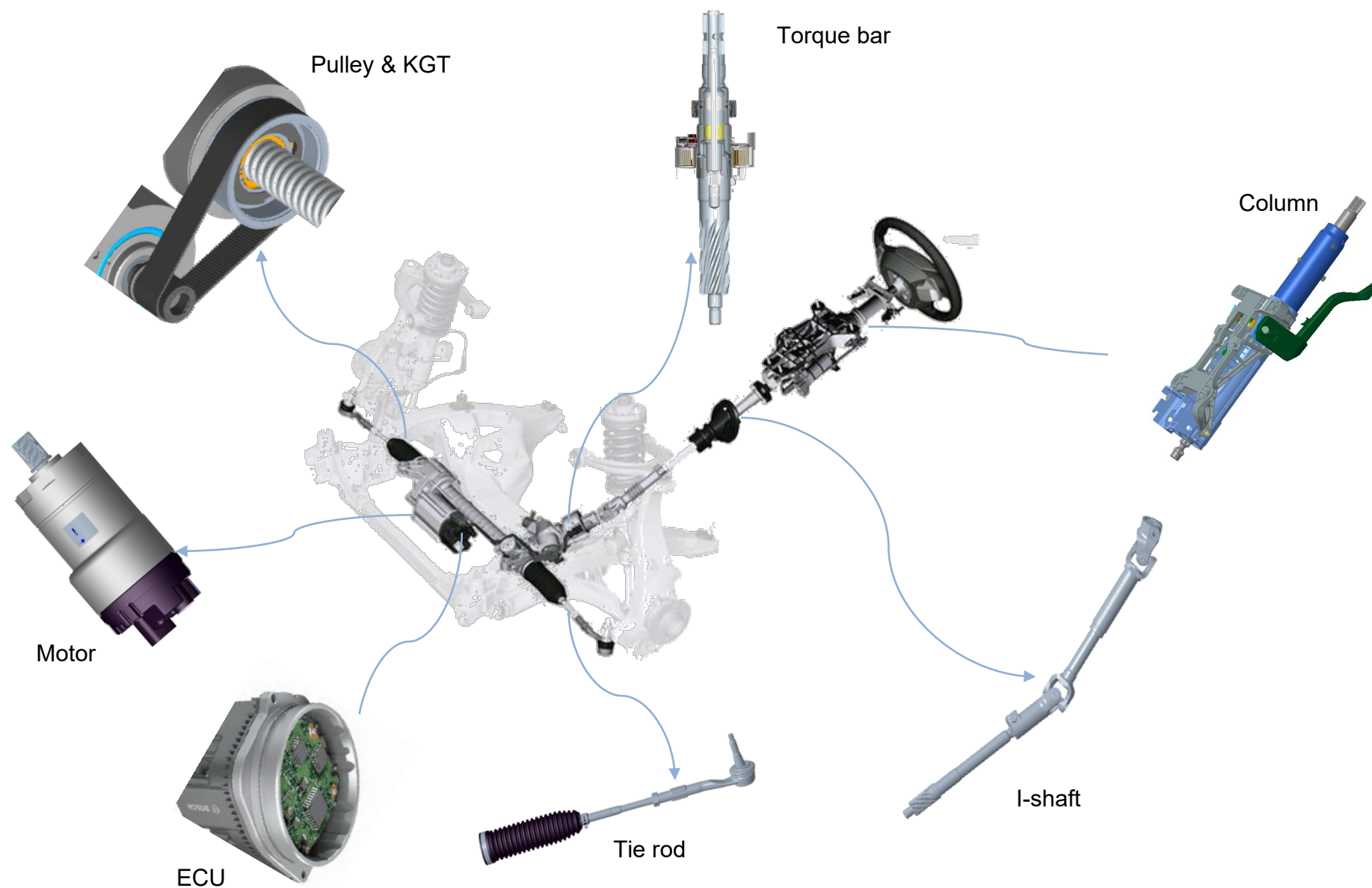
Part4

- 集成整车环境的转向系统总成以及与整车试验结果对比

Part5

- 总成环境下考虑各关键变量因素下的蒙特卡洛仿真

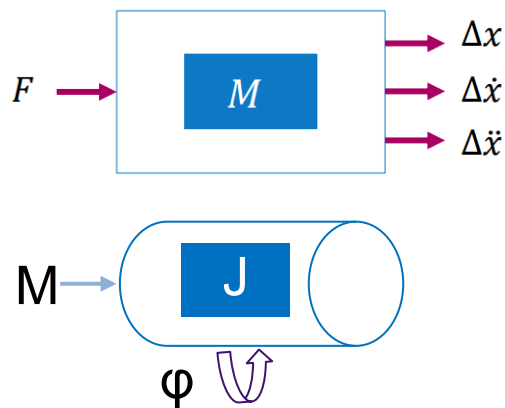
EPS模型构成—关键零部件



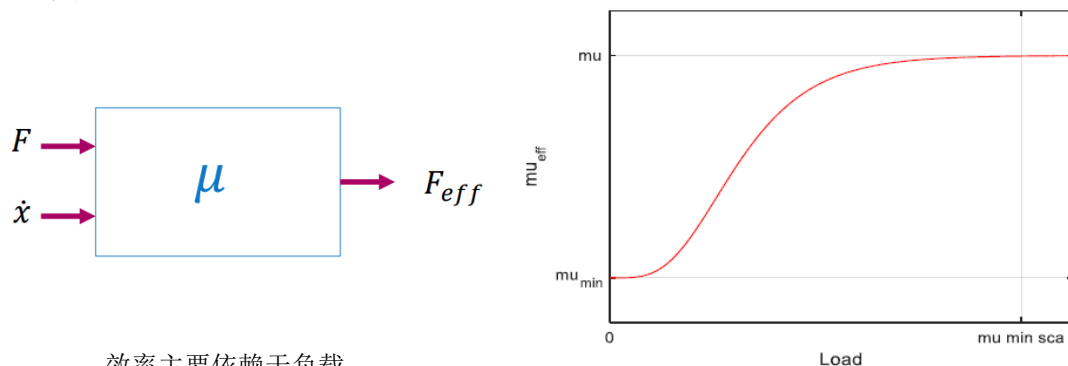
EPS 系统搭建基本原理

● 基于物理定理建立的一维物理模型，主要由以下几个基本元件组合而成：

• 惯性质量

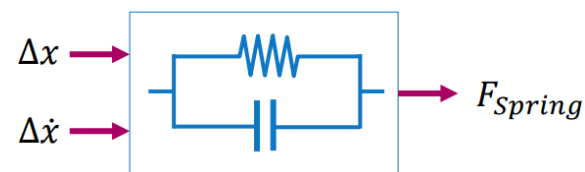


• 效率

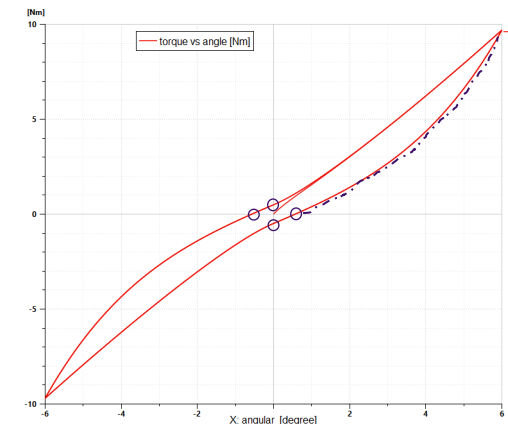


效率主要依赖于负载

• 弹簧



线性与非线性的刚度与阻尼组合而成

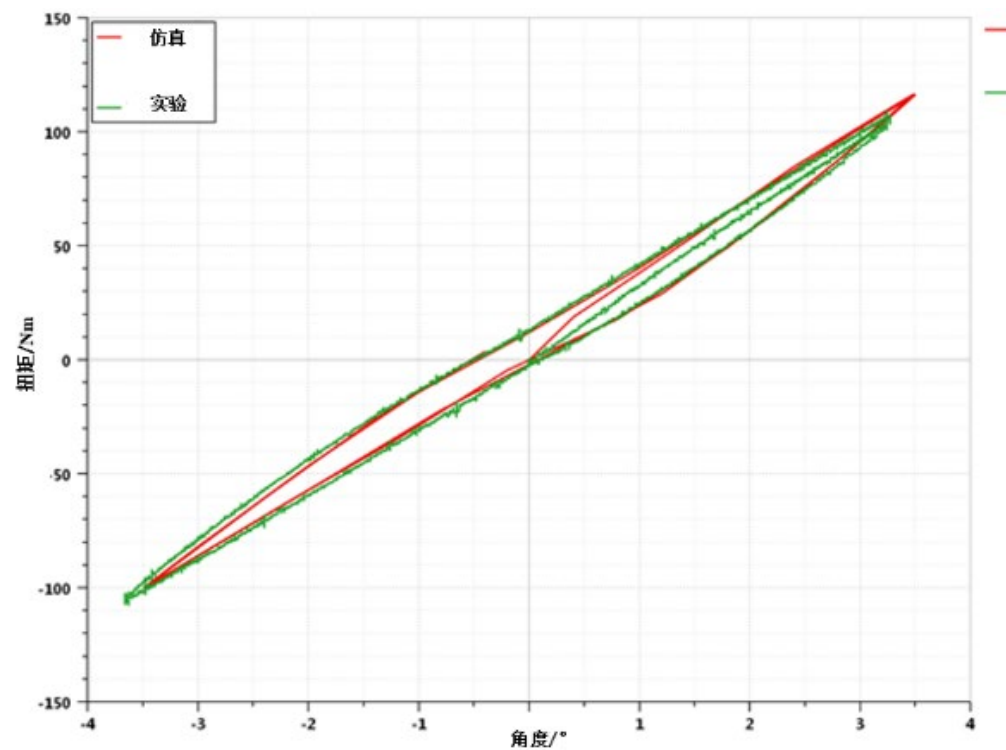
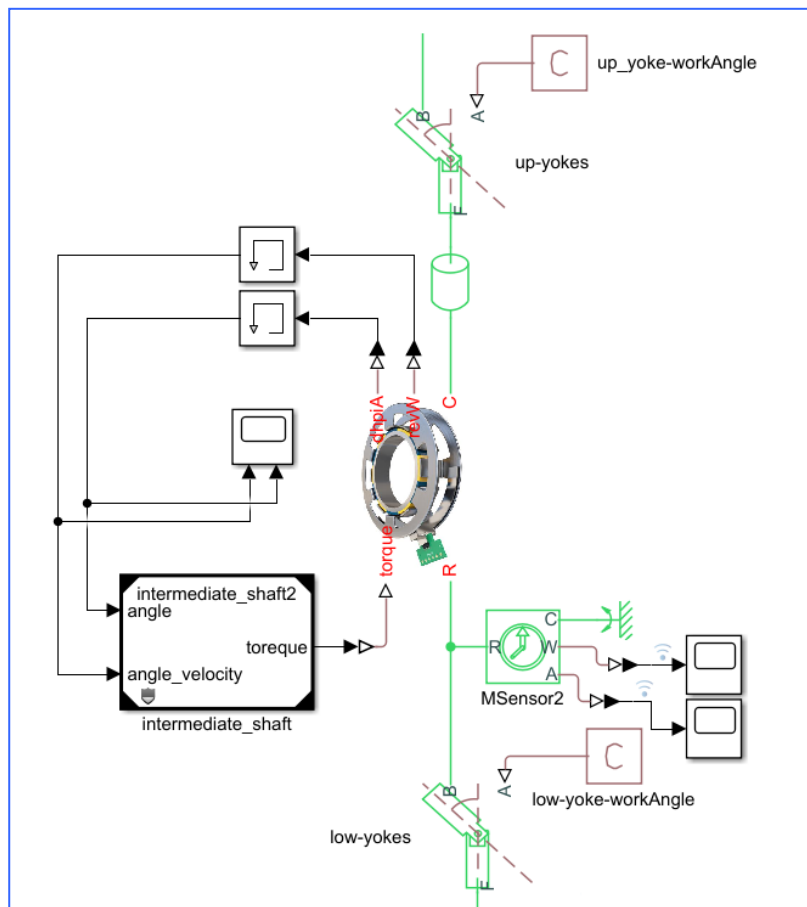
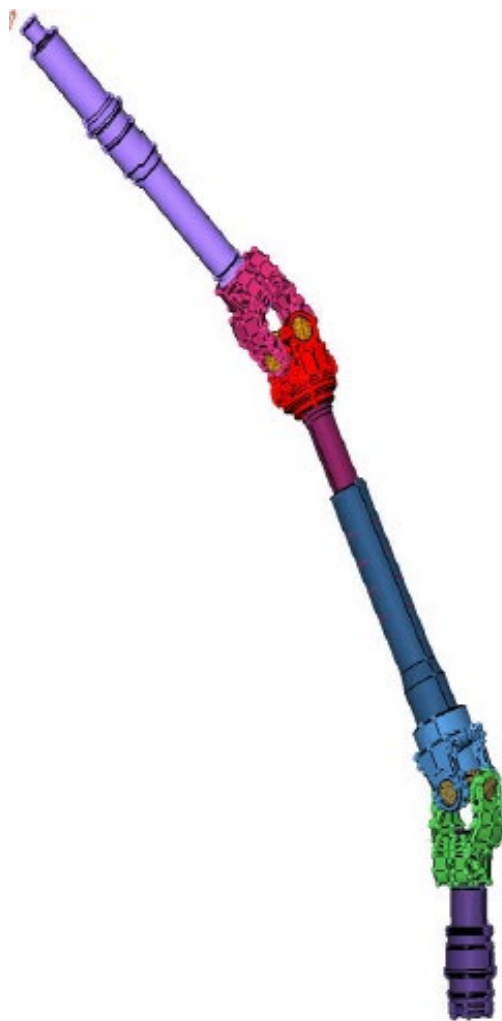


• 摩擦



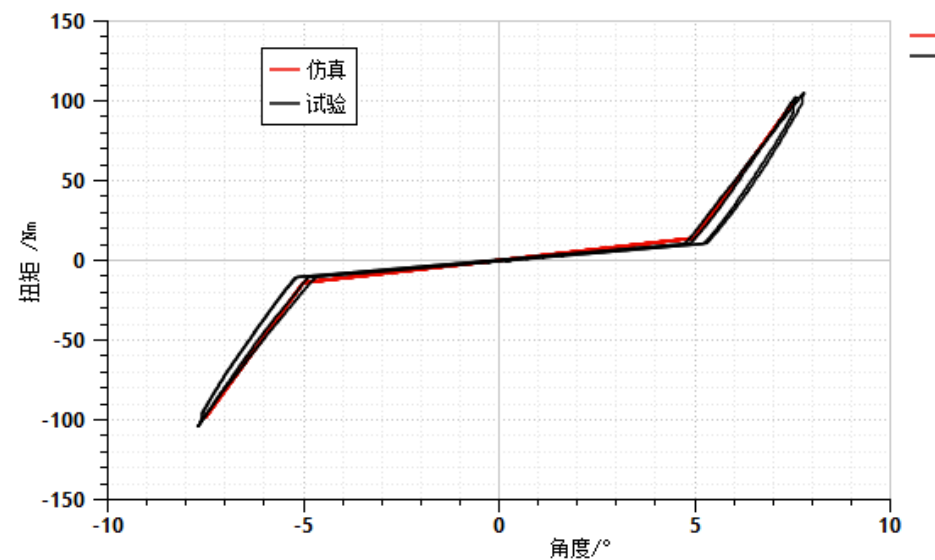
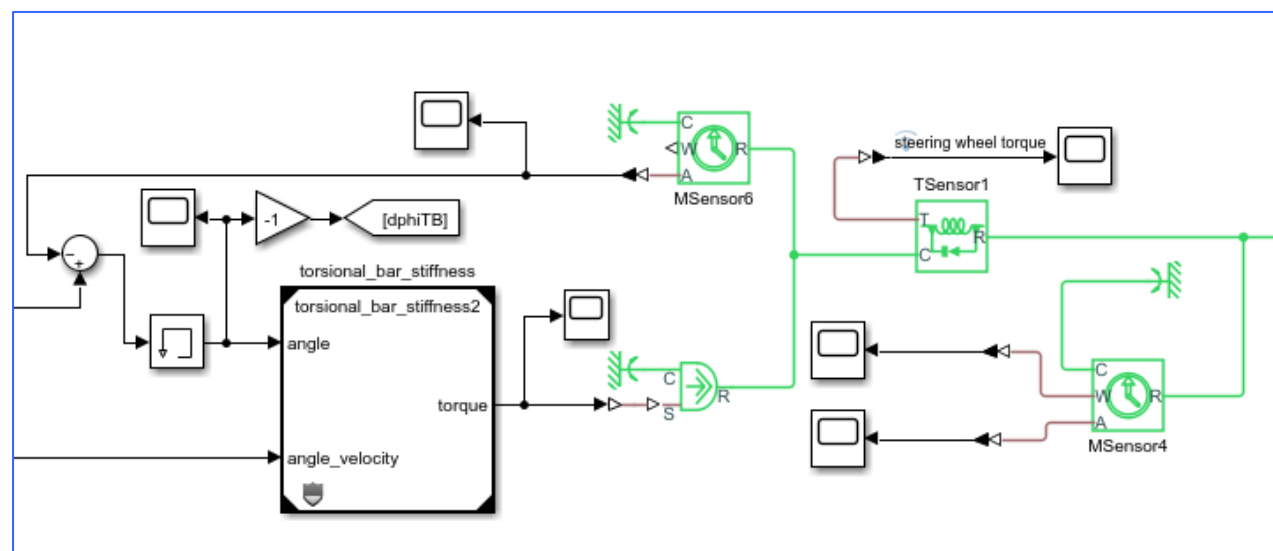
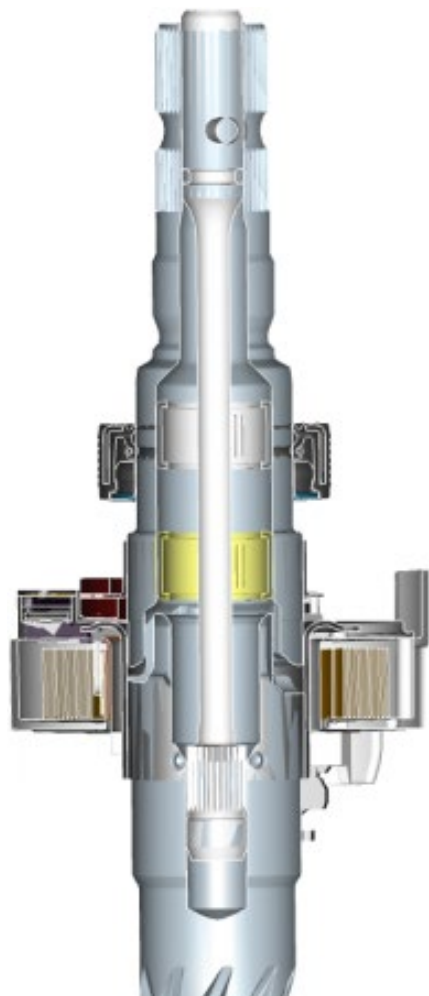
基于MATLAB平台的EPS建模

● 中间轴模型的搭建



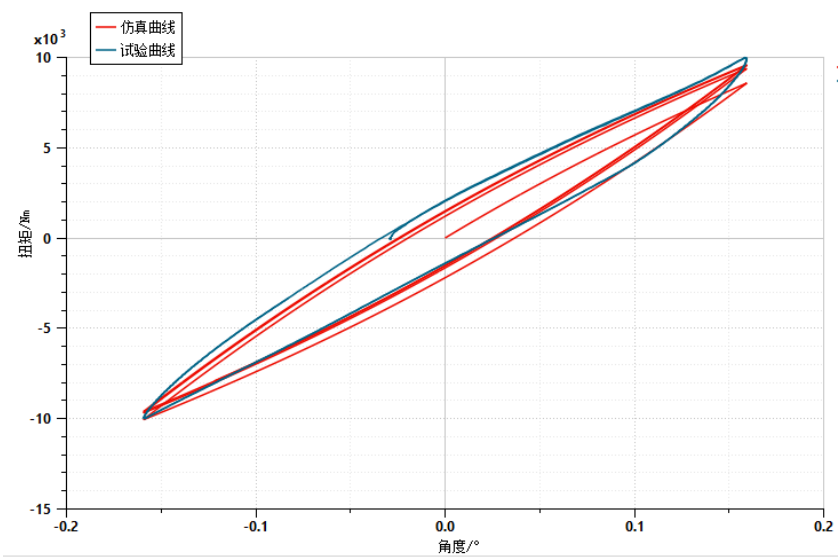
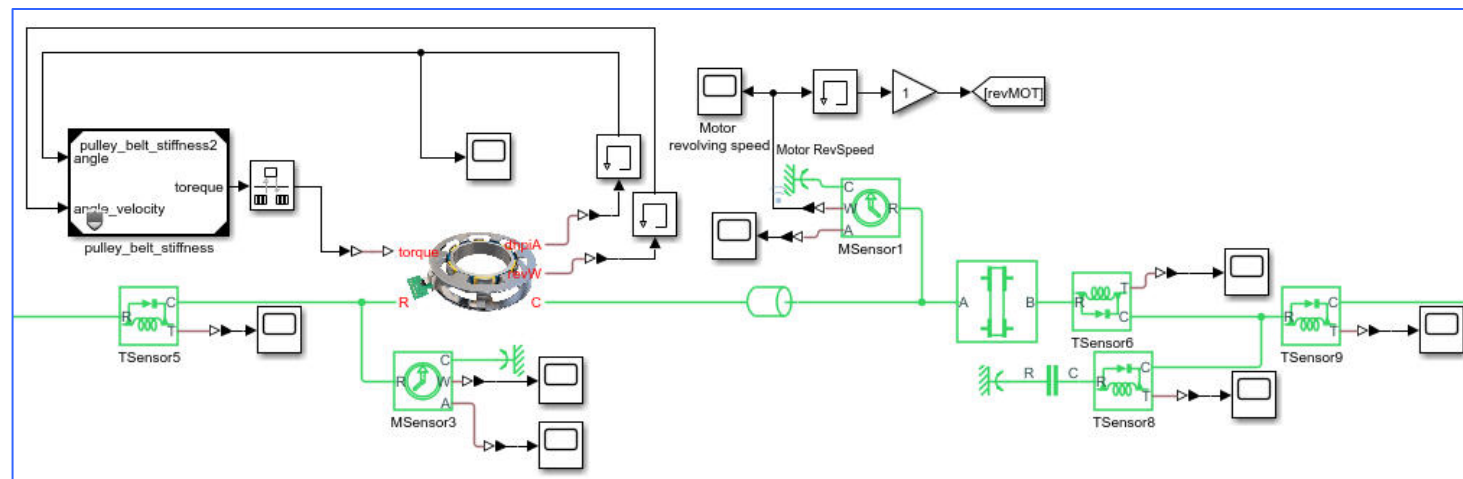
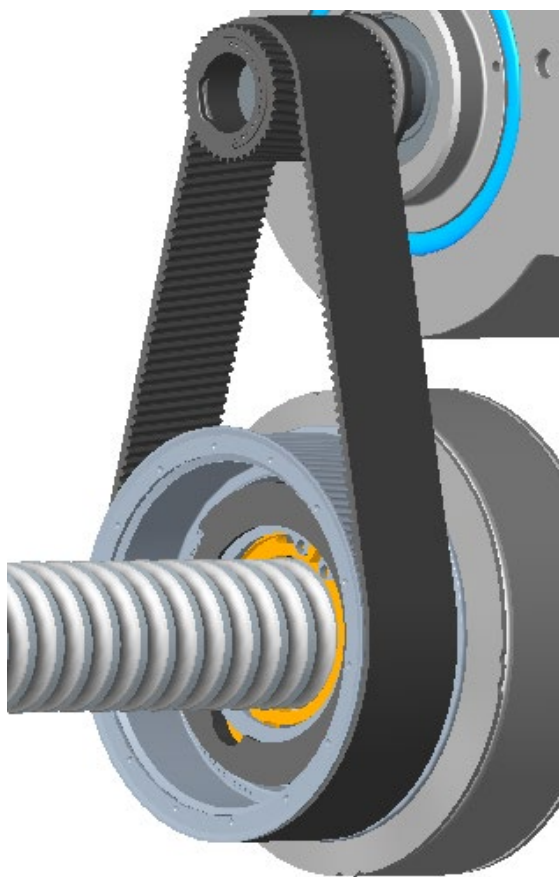
基于MATLAB平台的EPS建模

● 扭杆模型的搭建



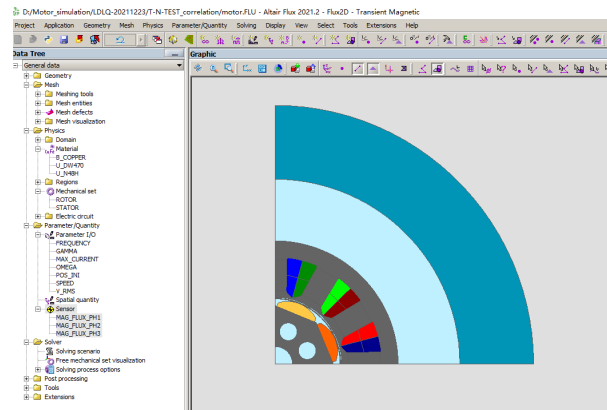
基于MATLAB平台的EPS建模

● 循环球传动总成模型的搭建

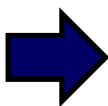


基于MATLAB平台的EPS建模

● 电机模型的搭建

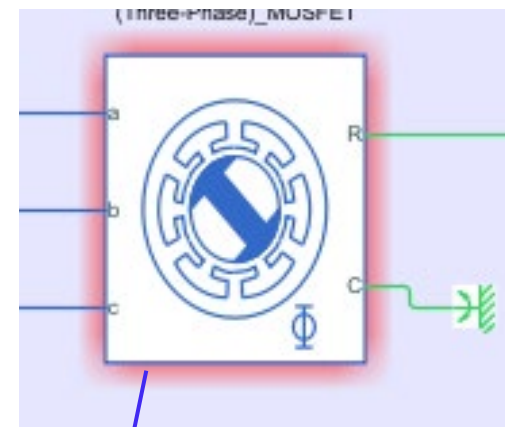
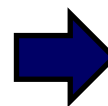


电机的电磁计算



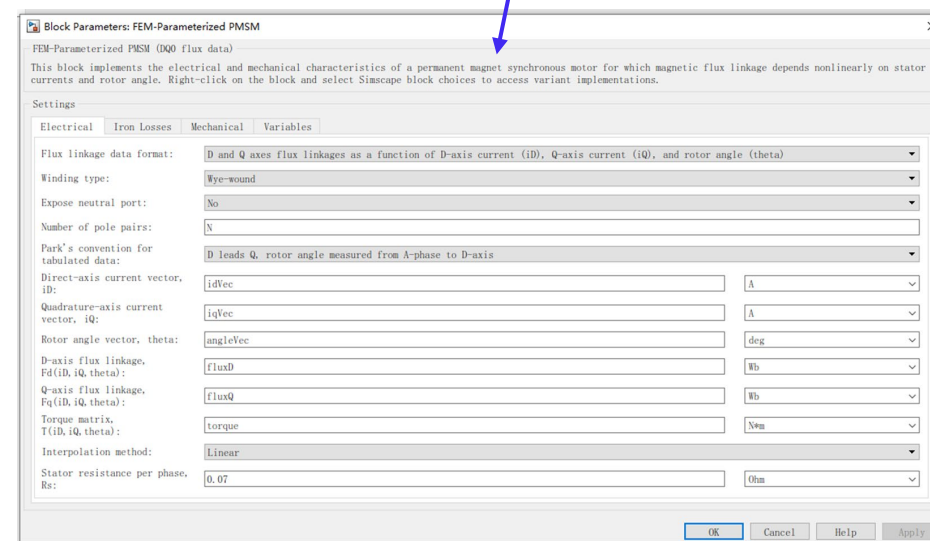
名称	值
angle	4761x5 double
angle0	529x5 double
angle1125	529x5 double
angle1500	529x5 double
angle1875	529x5 double
angle2150	529x5 double
angle2500	529x5 double
angle2875	529x5 double
angle375	529x5 double
angle750	529x5 double
AngPos	[0.37500,7.5000,11.2500,15,18.7500,22.5000,
FLUX_D	1x4761 double
FLUX_Q	1x4761 double
fluxD1	23x23x9 double
fluxQ1	23x23x9 double
id	1x23 double
iq	1x23 double
N	4
nld	23
nliq	23
nx	9
TORQUE	1x4761 double
TORQUE1	23x23x9 double

输出DQ磁链



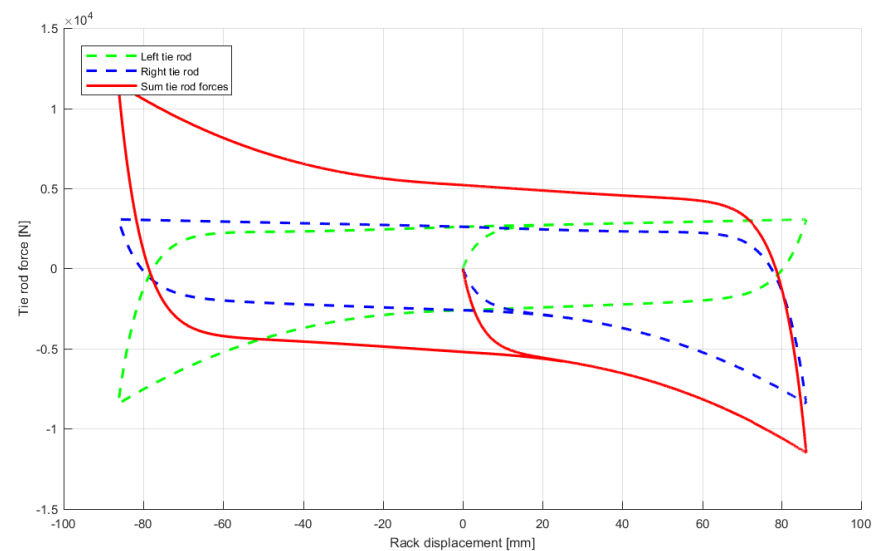
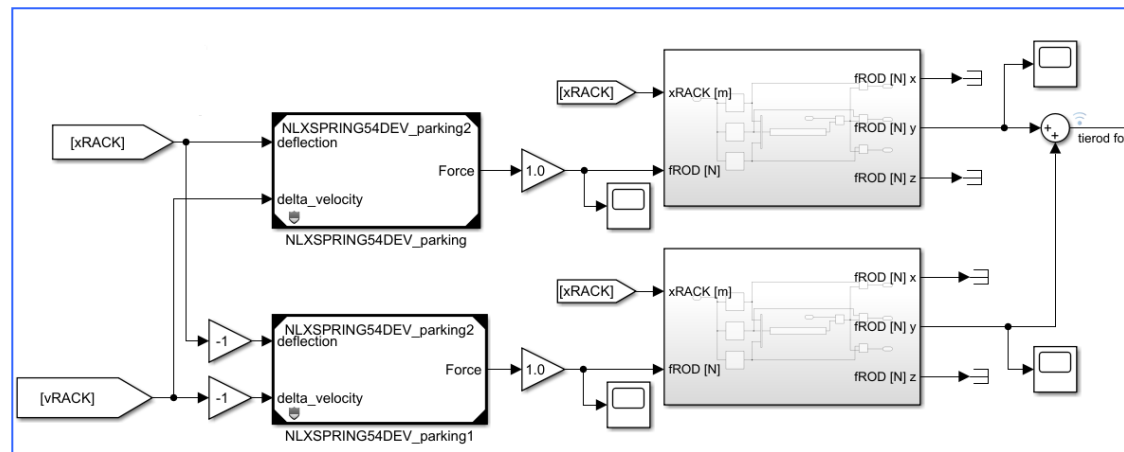
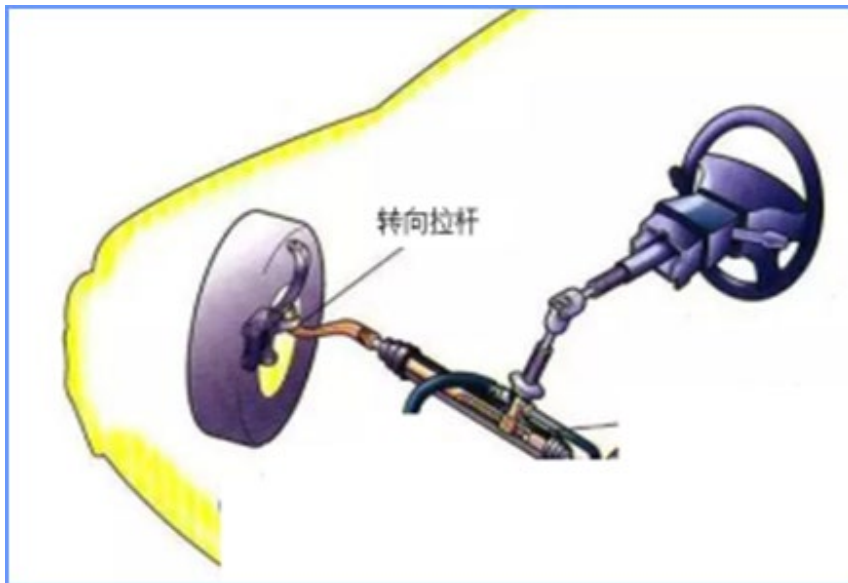
电机模型

转速	id	iq	控制角	扭矩
500	0A	113.1A	0°	4.15Nm
1000	0A	108.2A	0°	3.9Nm
1500	-36.5A	86.5A	67.12°	3.1Nm
2000	-61.9A	67A	42.73°	2.45Nm
2500	-73.6A	54.4A	55.43°	2Nm
3000	-80.5A	44.9A	59.85°	1.65Nm
3500	-85.6A	38A	66.07°	1.38Nm
4000	-85.3A	31.1A	69.97°	1.15Nm



基于MATLAB平台的EPS建模

● 拉杆力模型的搭建



目录

Part1

- 背景

Part2

- 转向系统零部件模型搭建以及与试验标定对比

Part3

- 转向系统总成的集成以及与台架试验结果对比

Part4

- 集成整车环境的转向系统总成以及与整车试验结果对比

Part5

- 总成环境下考虑各关键变量因素下的蒙特卡洛仿真

基于MATLAB平台的EPS系统总成的集成

● EPS系统总成模型



INPUTS

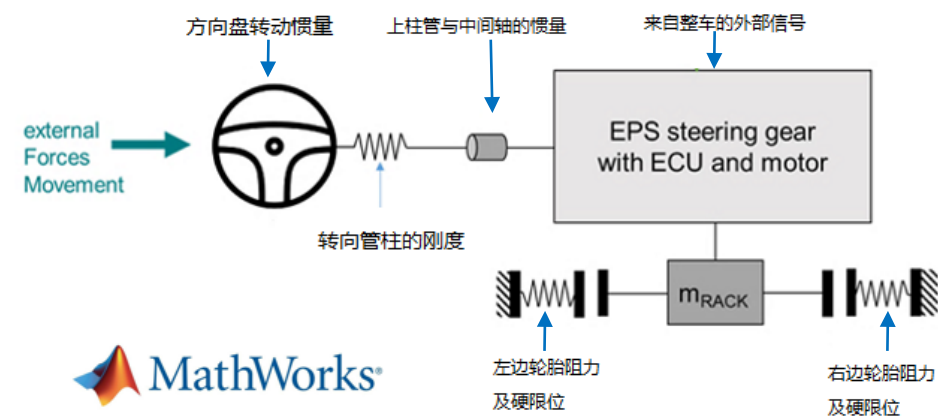
Mechanical Parameters

Tie Rod Kinematics

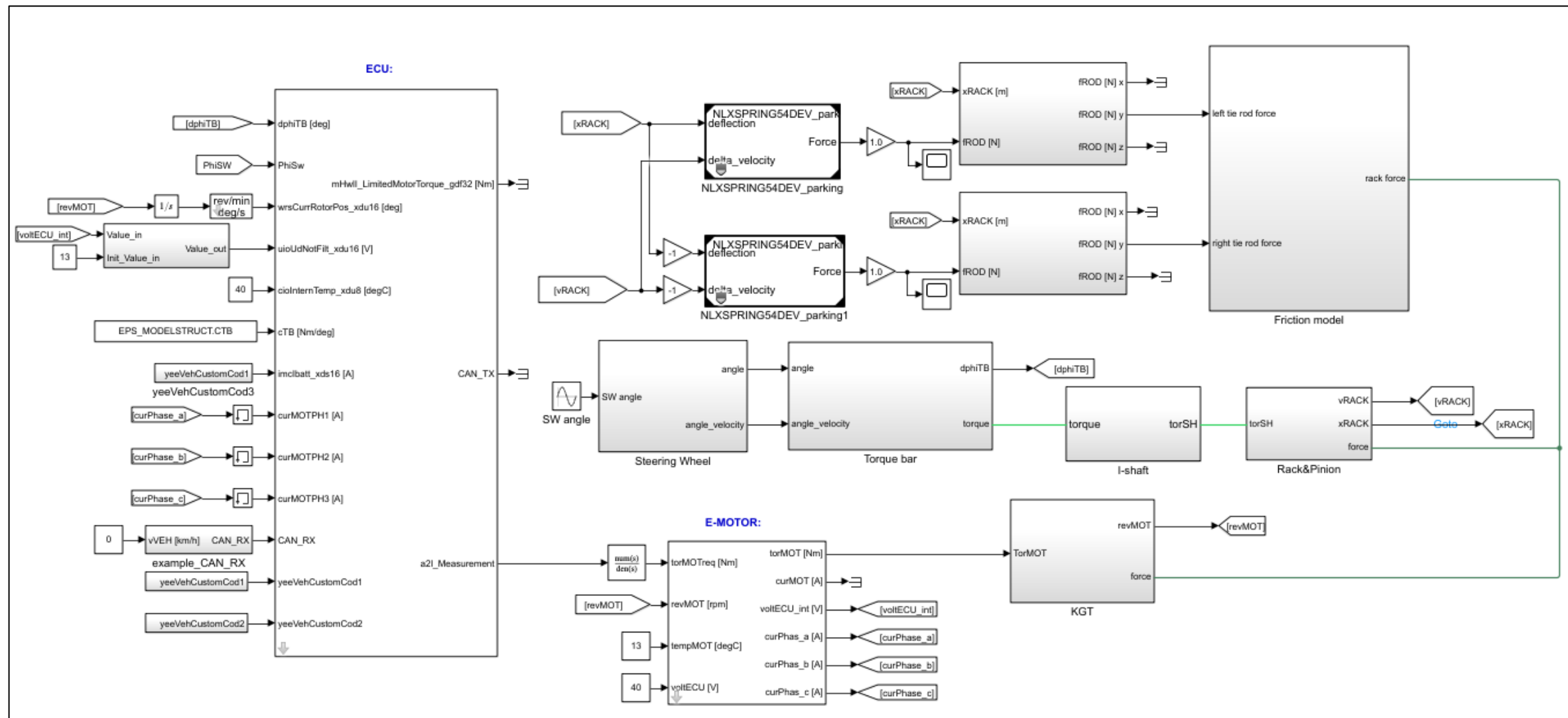
vECU

Use case

EPS 1-D model

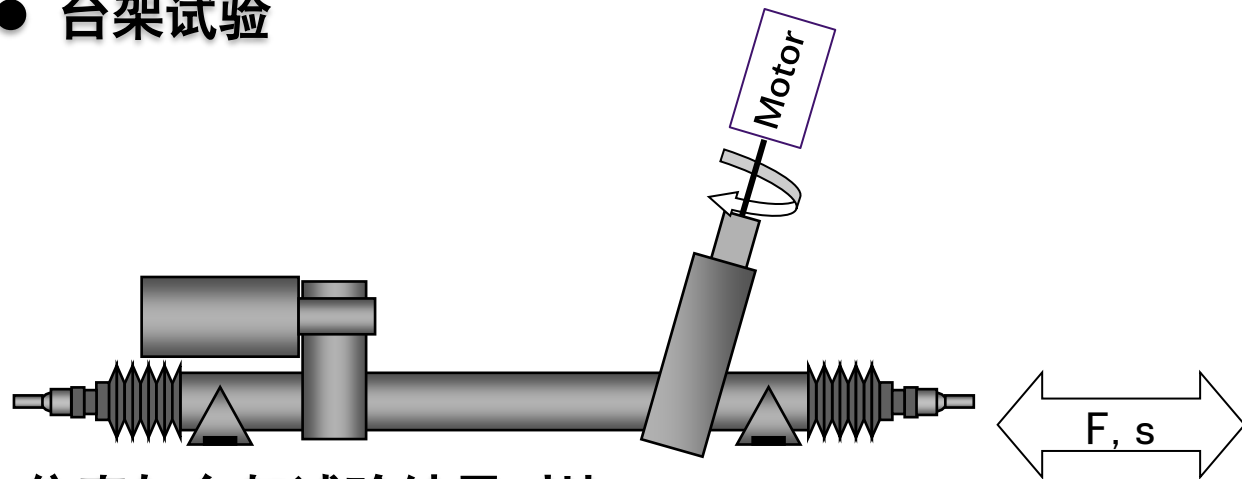


基于MATLAB平台的EPS系统总成的集成



基于MATLAB平台的EPS系统总成的集成

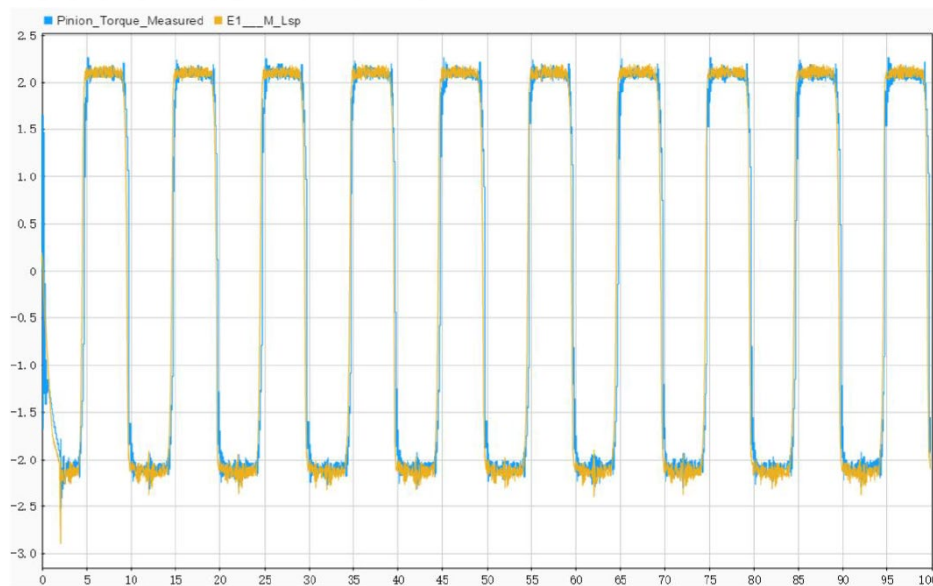
● 台架试验



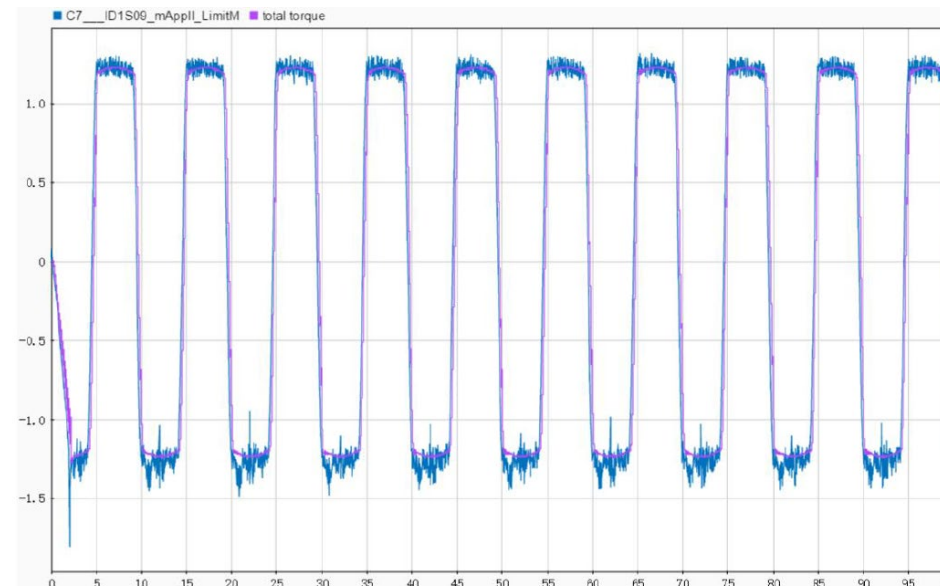
● EPS试验台架:

1. EPS助力
2. 不同载荷: 25%, 50%, 75%, 100%
3. 不同频率方向盘转角: 0.1Hz, 0.5Hz, 1Hz, 1.5Hz, 2Hz
4. 测量参数: 转向管柱转角及转矩信号, 助力电机输出扭矩及转角, 齿条位移。

● 仿真与台架试验结果对比



手力扭矩对比图



电机输出扭矩对比图

目录

Part1

- 背景

Part2

- 转向系统零部件模型搭建以及与试验标定对比

Part3

- 转向系统总成的集成以及与台架试验结果对比

Part4

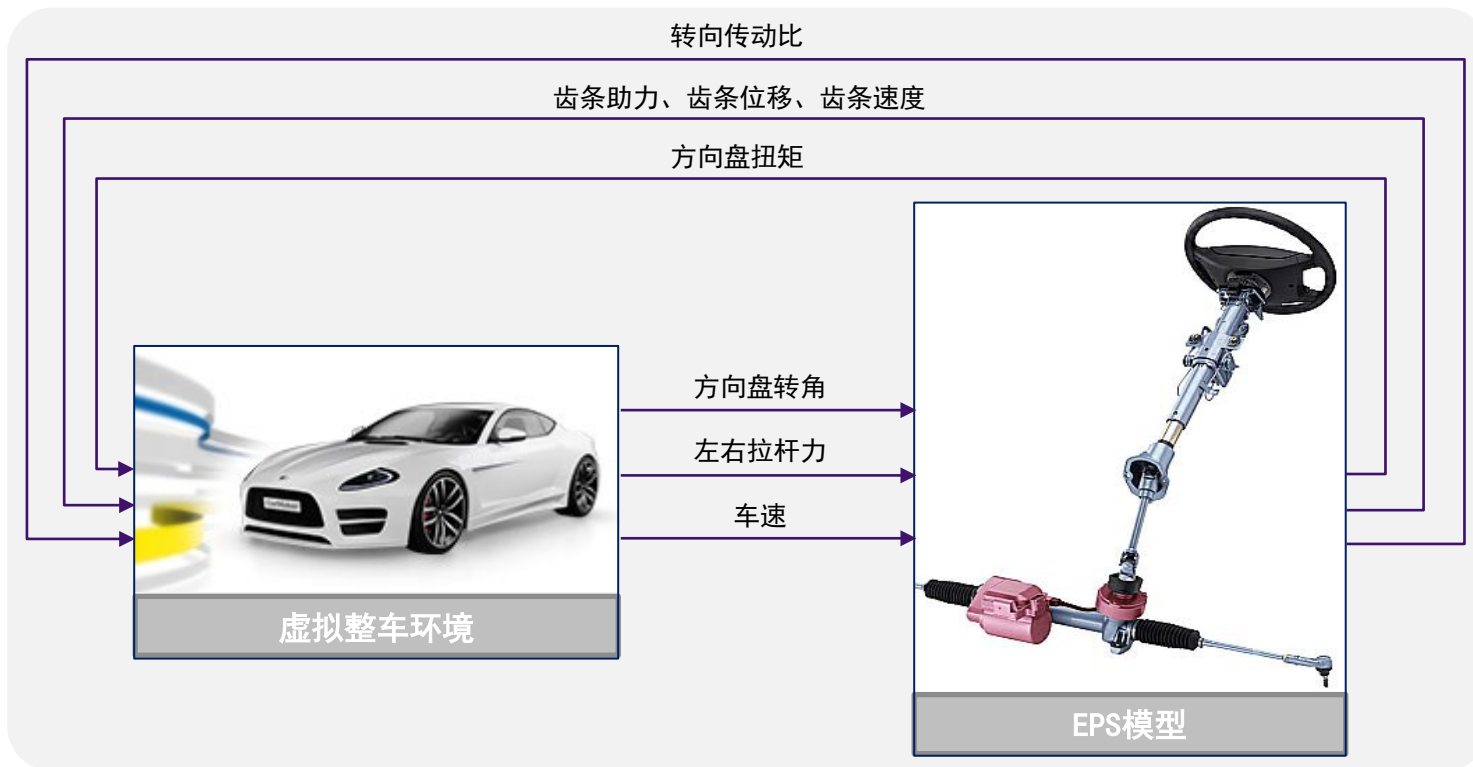
- 集成整车环境的转向系统总成以及与整车试验结果对比

Part5

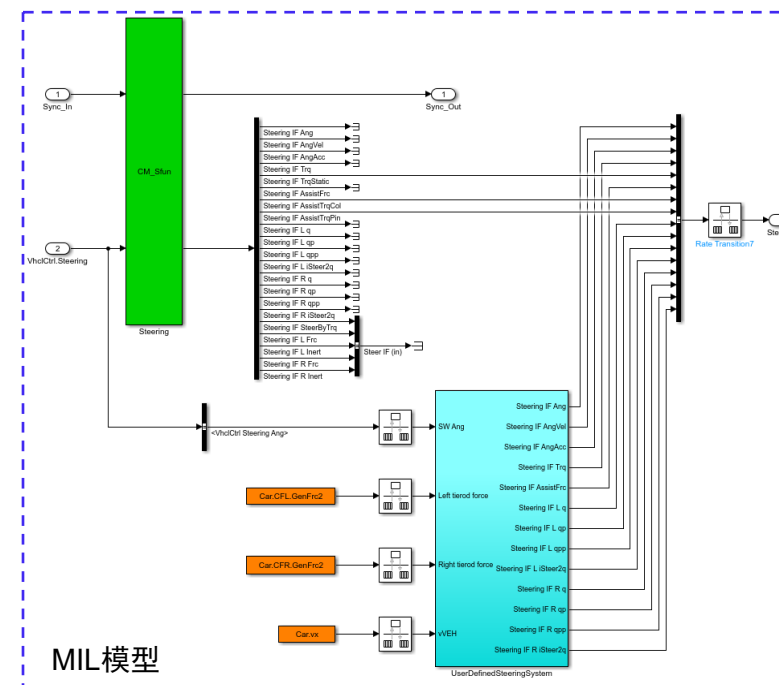
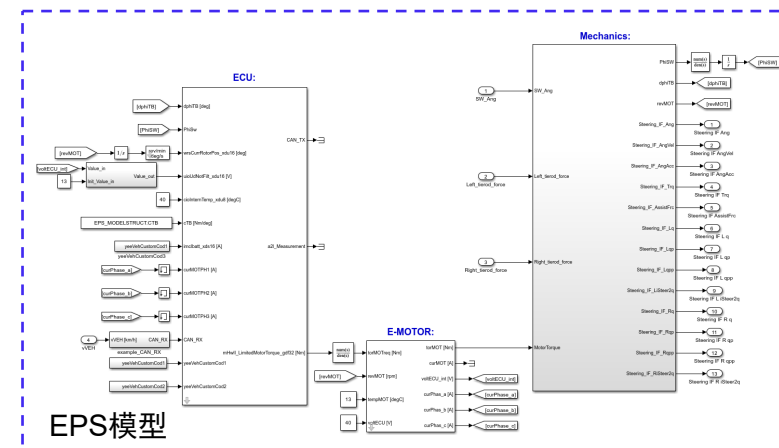
- 总成环境下考虑各关键变量因素下的蒙特卡洛仿真

基于MATLAB平台的虚拟车辆验证转向系统可靠

● 集成虚拟整车环境的EPS MIL模型



- **虚拟整车环境**: Carmaker 搭建，主要包括车辆动力学模型、驾驶员模型、虚拟场景模型等。
- **EPS模型**: Simulink和Simscape搭建，主要包括ECU、电机模型、机械部件模型。
- **MIL模型**: Simulink和Carmaker联合仿真，虚拟整车环境完全集成到Simulink中。



基于MATLAB平台的集成整车环境的EPS操稳性能仿真

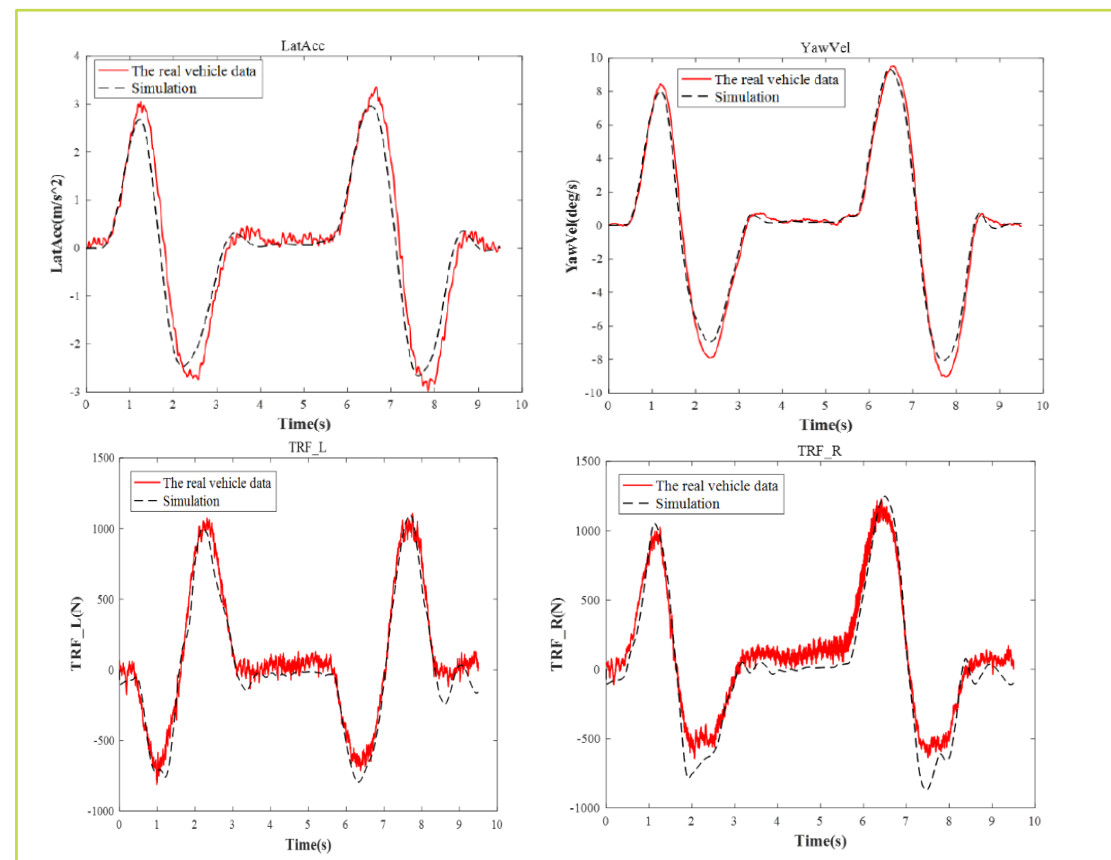
- GB/T 6323-2014汽车操纵稳定性试验方法：蛇行试验、转向瞬态试验（角阶跃、角脉冲）、转向回正试验和稳态回转试验等。
- 试验与仿真对比：仿真结果能很好地反映整车实际和转向系统静动态性能。



整车操稳试验



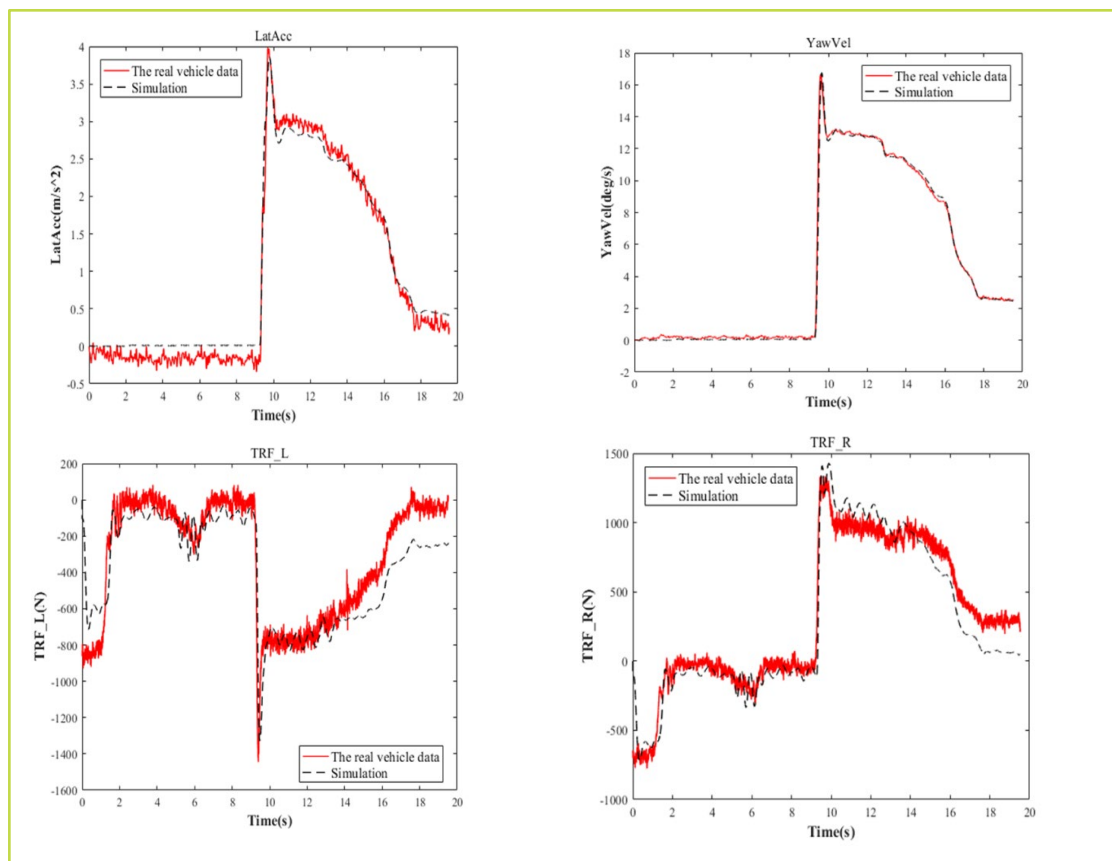
整车操稳仿真



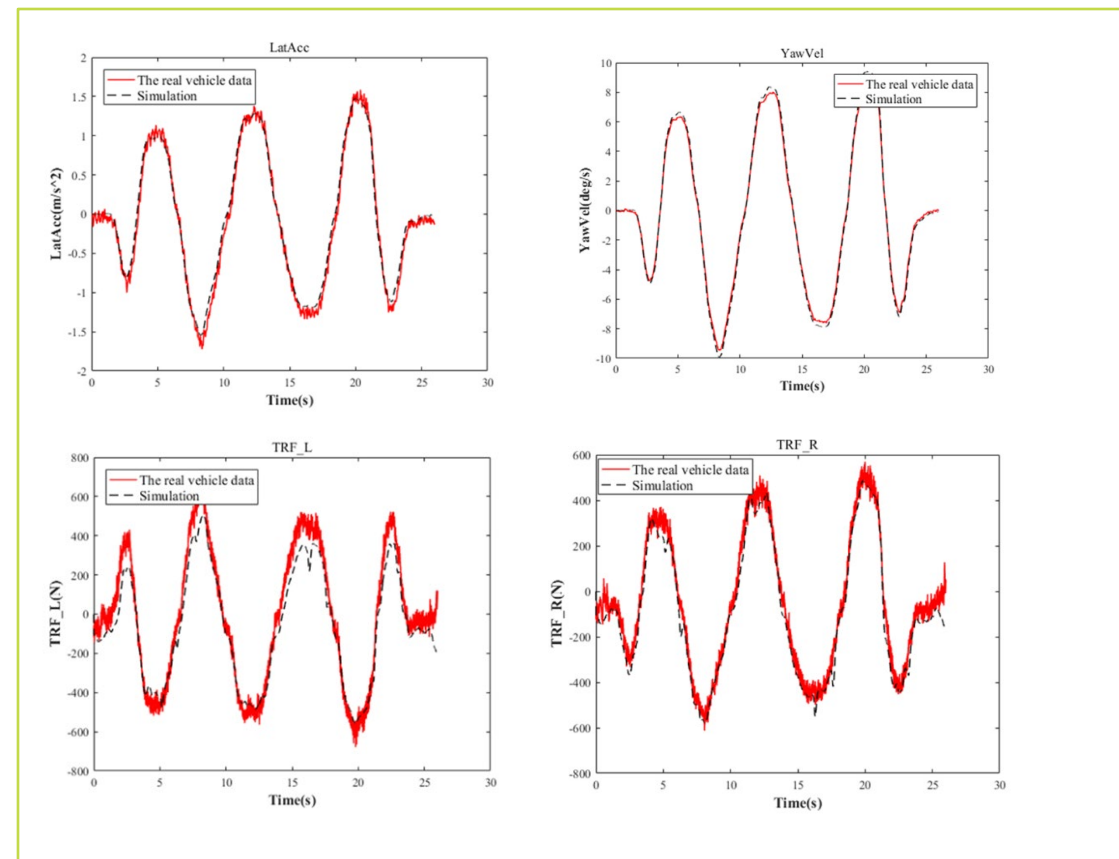
角脉冲试验

基于MATLAB平台的集成整车环境的EPS操稳性能仿真

- GB/T 6323-2014汽车操纵稳定性试验方法：蛇形试验、转向瞬态试验（角阶跃、角脉冲）、转向回正试验和稳态回转试验等。
- 试验与仿真对比：仿真结果能很好地反映整车实际和转向系统静动态性能。



角阶跃试验



蛇形试验

目录

Part1

- 背景

Part2

- 转向系统零部件模型搭建以及与试验标定对比

Part3

- 转向系统总成的集成以及与台架试验结果对比

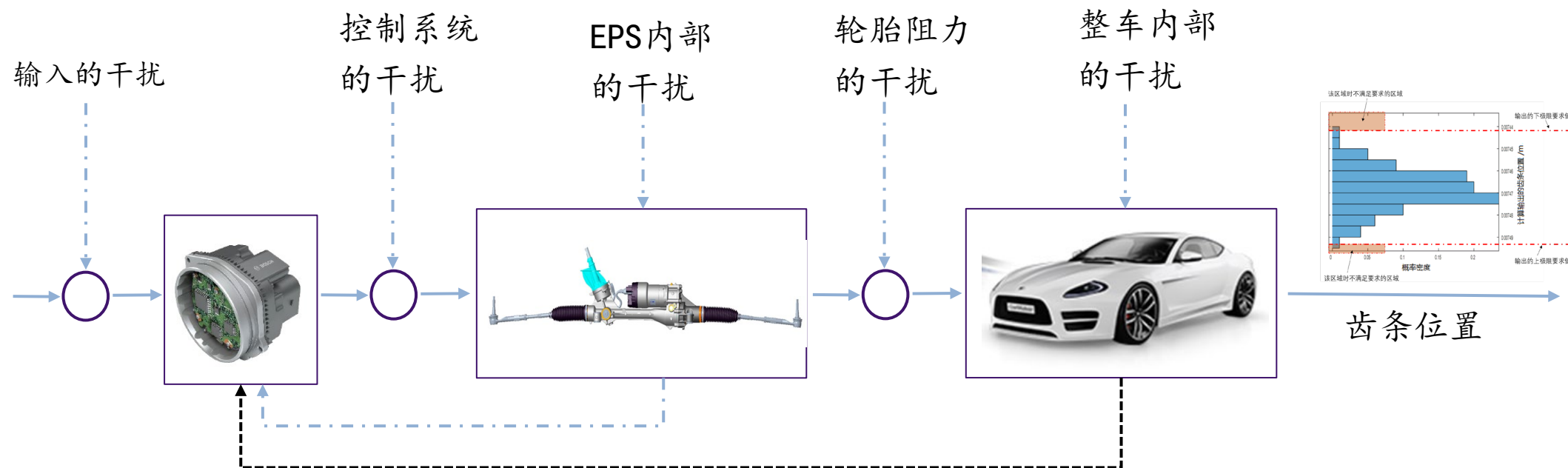
Part4

- 集成整车环境的转向系统总成以及与整车试验结果对比

Part5

- 总成环境下考虑各关键变量因素下的蒙特卡洛仿真

基于Simulink敏感度分析工具箱进行蒙特卡洛模拟



❑ 输入的干扰:

- ✓ 驾驶操纵方式

❑ 控制系统的干扰:

- ✓ 硬件实现的差异

❑ EPS内部的干扰因素:

- ✓ 方向盘惯性
- ✓ 转向管柱的刚度、阻尼
- ✓ 扭杆的刚度、阻尼
- ✓ 中间轴的刚度、阻尼
- ✓ EPS内部的传动比

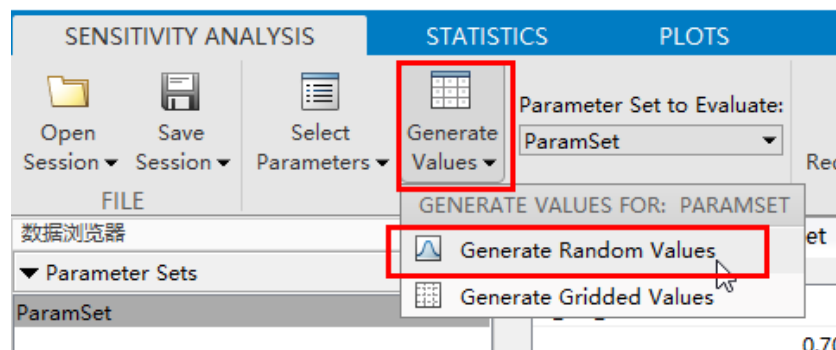
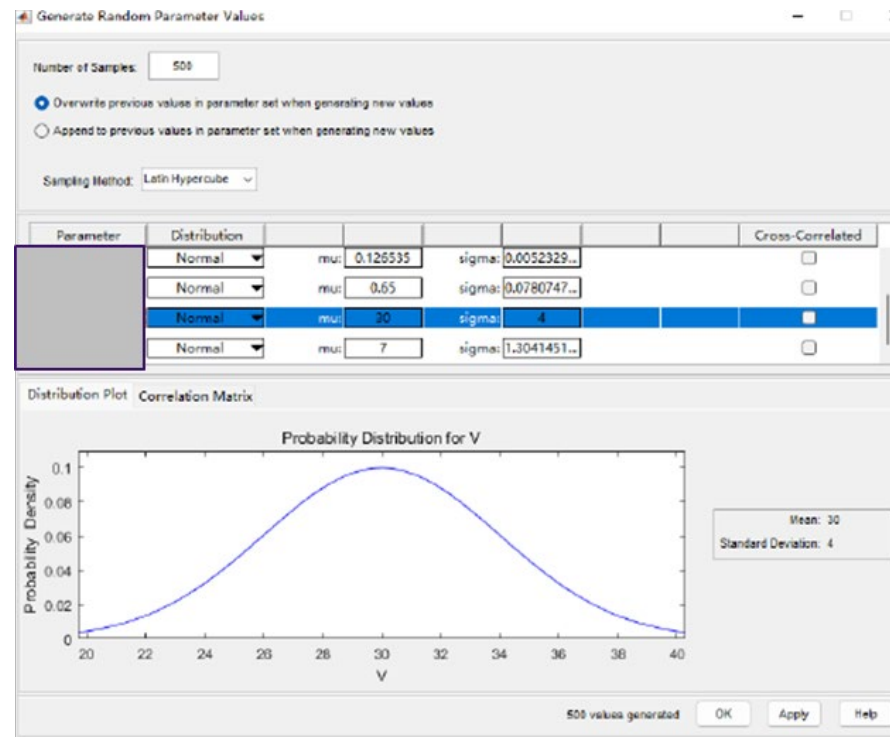
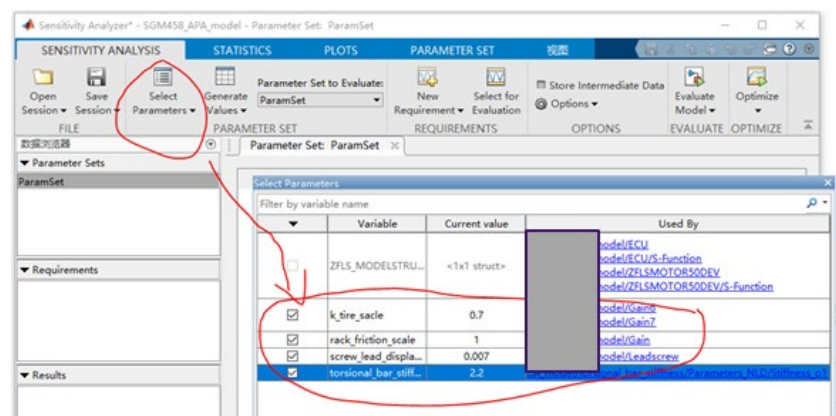
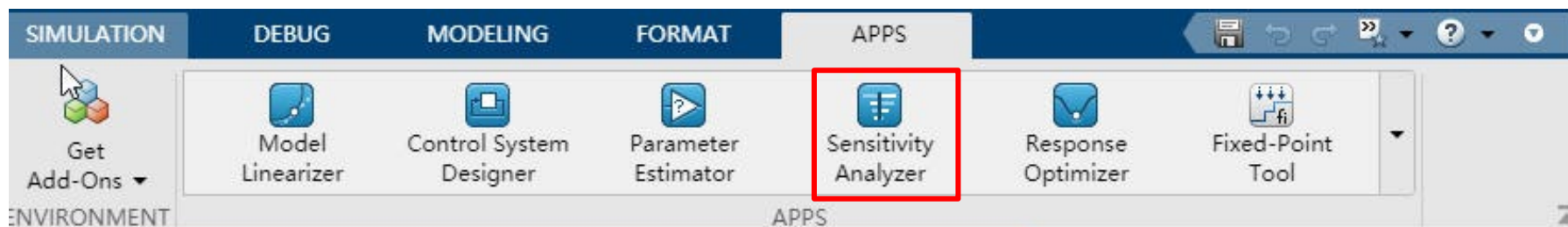
❑ 整车内部的干扰因素:

- ✓ 车辆质量、惯性
- ✓ 轴距、质心到前轴的距离
- ✓ 齿条到轮胎转角的传动
- ✓ 拉杆角

❑ 轮胎阻力的干扰因素:

- ✓ 轮胎与地面的附着系数
- ✓ 主销后倾角
- ✓ 主销内倾角
- ✓ 轮胎垂直载荷、垂直刚度
- ✓ 车速

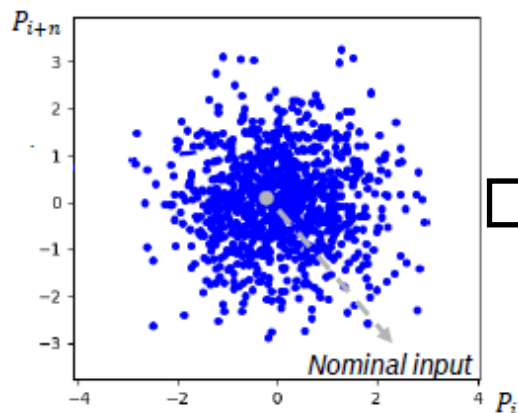
基于Simulink敏感度分析工具箱进行蒙特卡洛模拟



基于Simulink敏感度分析工具箱进行蒙特卡洛模拟

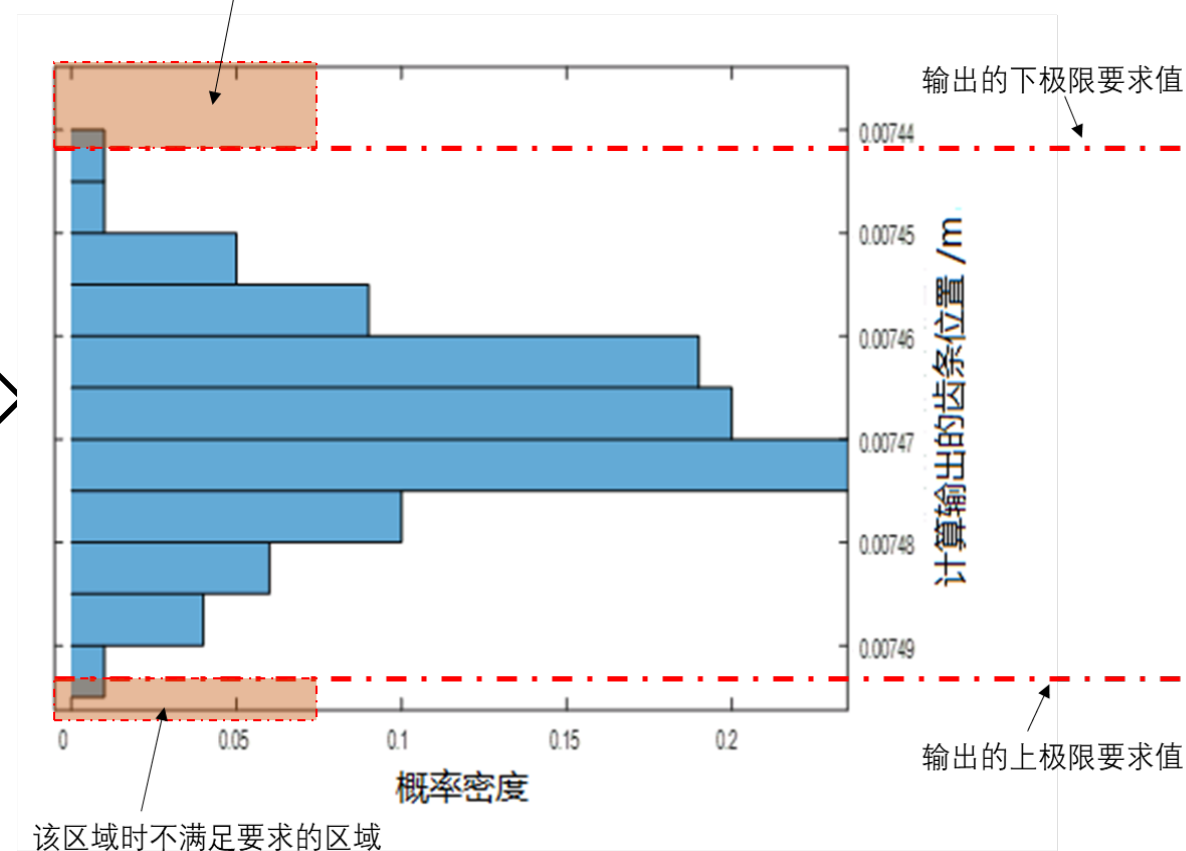
- EPS
- 整车
- 控制系统
- 驾驶方式

转向系统及整车的
关键特性变量输入



蒙特卡洛仿真
(vEPS +
Vehicle model)

该区域时不满足要求的区域



MATLAB EXPO

Thank you



© 2023 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.