

Your True Partner for CAE&CFD
ICSC2014



GT-SUITE在传动系统的应用 ——详细变速箱模拟

IDAJ-China
GT-Team

本文来自:www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询:support@idaj.cn

目录

- 变速箱模型的应用
- GT-SUITE变速箱模块与接口
- 变速箱零件模拟
- 变速箱和传动系统模拟应用实例

本文来自:www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询:support@idaj.cn

变速箱模型的应用

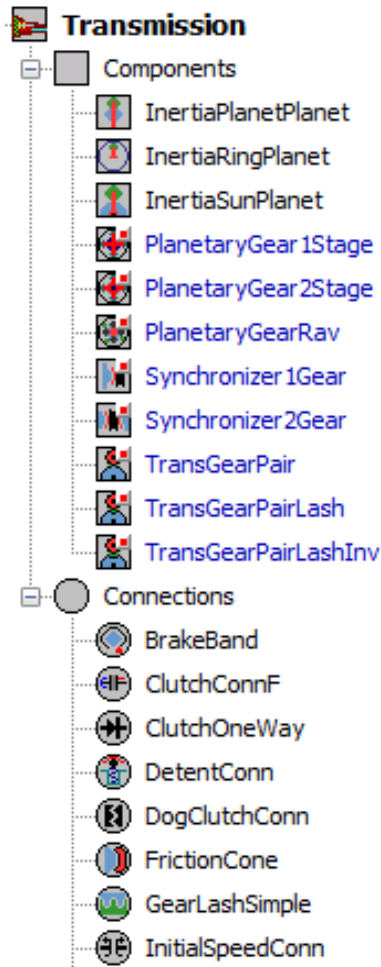
- 燃油经济性与动力性
 - ◆ 表示为变速箱速比和效率（能量损失）即可。
- 换挡质量与驾驶性
 - ◆ 换挡间隔（个别零件，滑移，间隙，摩擦和柔性）以及执行机构都需要建模，以模拟换挡和瞬态有效速比
- NVH，变速箱动力学，齿轮异响
 - ◆ 更加精确的柔度，齿轮接触运动学，间隙模拟

本文来自：www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载！
技术咨询：support@idaj.cn

GT-SUITE变速箱模块与接口

- 变速箱模块：
 - ◆ 机械零件
 - ◆ 液压系统
- 车辆与发动机集成：
 - ◆ 控制
 - ◆ 热管理
 - ◆ 润滑系统
 - ◆ 发动机和燃烧
 - ◆ 动力传动系统零件和车辆
 - ◆ 混合动力架构
 - ◆ 曲轴动力学
 - ◆ 发动机机体动力学

变速箱模板库



Planetary gear primitives AT

Planetary gear compounds AT

Ravigneaux Planetary Gearset AT

Gear pair (kinematic ratio) MT, DCT

Synchronizer compounds MT, DCT

Gear pair (elasto-dynamic spur/helical gears with lash) MT, DCT

Band brake AT

Force-actuated clutch MT, AT, DCT

Roller /sprag-type one way clutch AT

Wet clutch AT, DCT

Detent (synchro) MT, DCT

Dog clutch (synchro) MT, DCT

Friction cone (synchro) MT, DCT

Basic gear lash (contact) MT, DCT

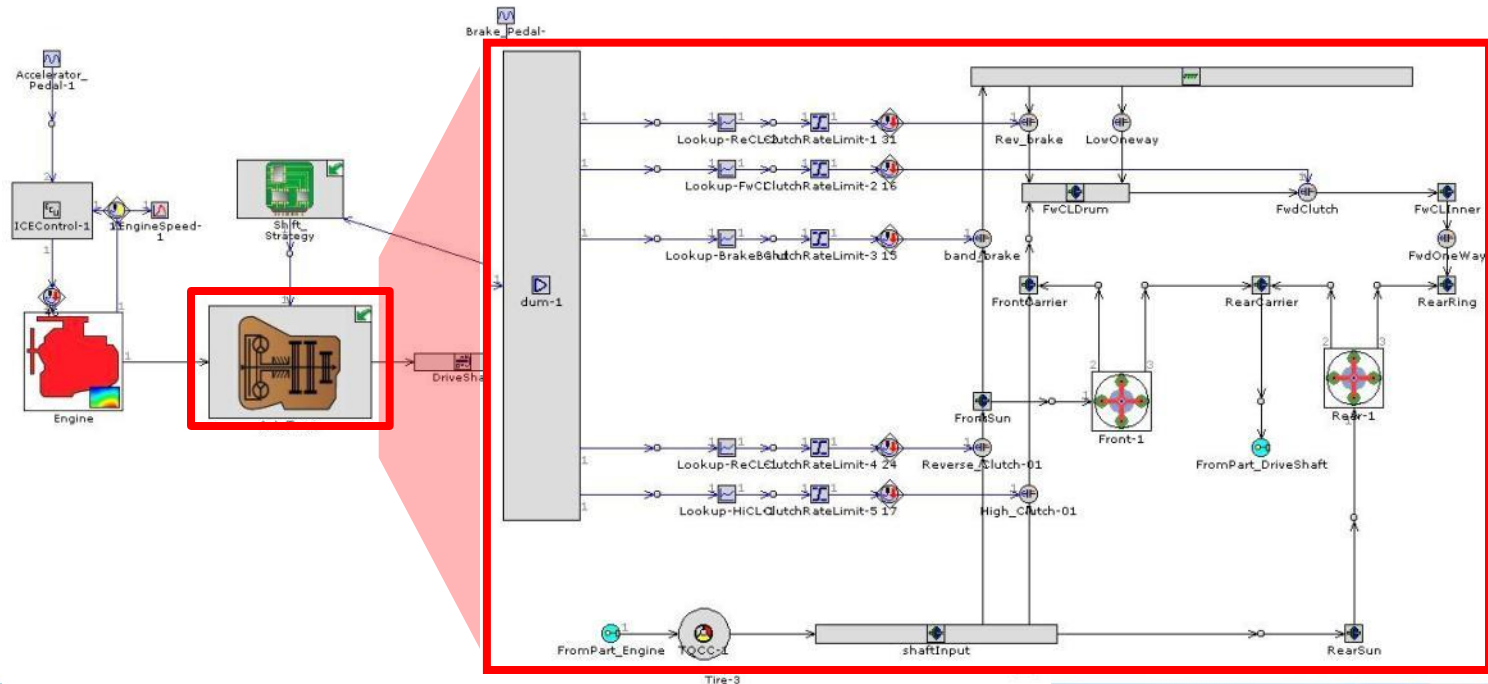
Special connection for initialization AT, MT, DCT

各种行星轮系
齿轮副
同步器
鼓式刹车
湿式离合器

自动变速箱 (AT) 模拟

本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

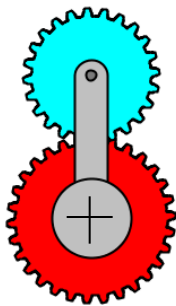
- 专业的车辆库模板：行星轮，离合器，单向离合器，鼓式刹车，湿式离合器
 - ◆ 1-D旋转零件（惯量，阻尼等）
 - ◆ 可以和液压系统及控制部件集成
 - ◆ 换挡过渡过程和质量模拟



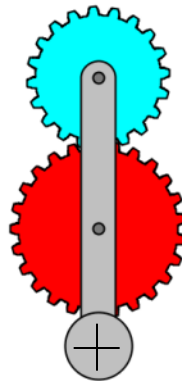
行星轮系 - 基本单元(用单个行星轮表示)

■ 快速1D（旋转）模拟

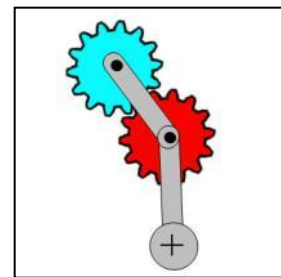
- ◆ 太阳轮，行星轮和齿圈（几何+速比运动学）。
- ◆ 模板设计为可以构建更高阶行星轮系，用于自动变速箱模拟
 - 单行星轮
 - 双行星轮
 - 双级行星轮系
 - 拉维娜行星轮系



InertiaSunPlanet (SP)

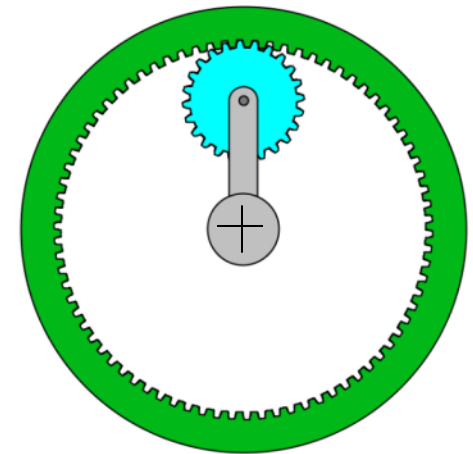


InertiaPlanetPlanet (PP)



Offset
Variant

模板名

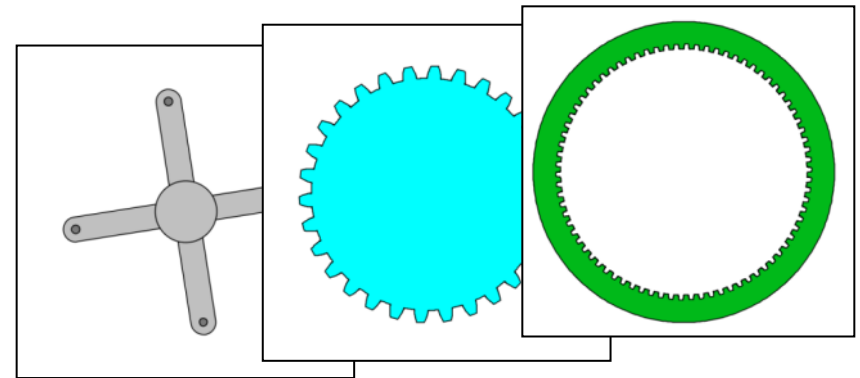
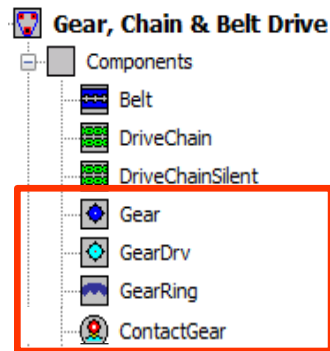


InertiaRingPlanet (RP)

AT 行星轮- 平面2D分析 渐开线齿接触，柔度和间隙

- 自动变速箱模型（行星轮系）可以使用2D多体动力学和齿轮模板构建

- ◆ Gear
- ◆ GearRing
- ◆ ContactGear
- ◆ Inertia2D
- ◆ 等.

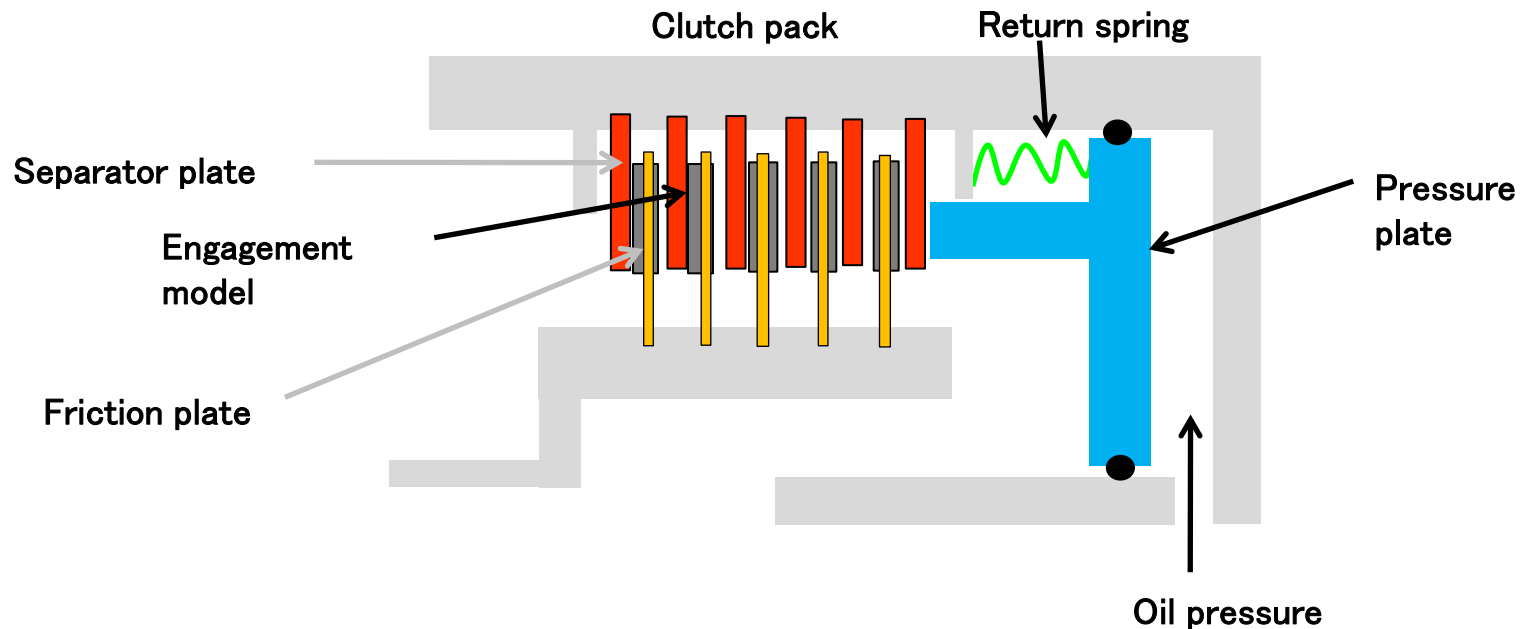


- 除了执行器动力学，离合器/鼓式制动器滑移外，还有：

- ◆ 渐开线齿接触运动学
- ◆ 齿轮齿柔度
- ◆ 因为齿轮拟合引起的可变刚度
- ◆ 间隙，齿轮咬合
- ◆ 接触和轴承摩擦
- ◆ 平面内柔度

湿式离合器

- ◆ AT, DCT中的重要摩擦单元
- ◆ 要进行离合和扭矩变化需要准确高准确度的物理特性
- ◆ 专业的GT-SUITE湿式离合器模型 (WetClutchConn)



湿式离合器模型 (WetClutchConn)

◆ 根据下述离合器物理模型构建

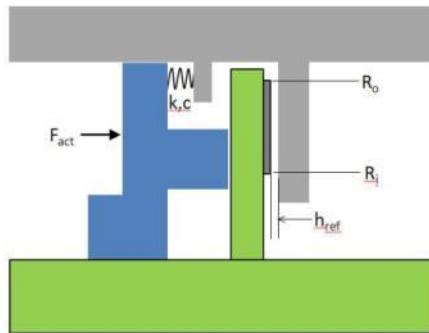
- Berger and Sadeghi (1996)
- Yang, Lam and Fujii (1998)
- Deur et al. (2005)

◆ 模拟的关键物理特性：

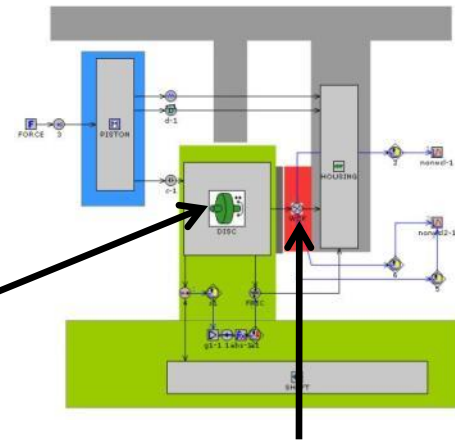
- 环形油膜的液压动力学（雷诺方程）
- 接触摩擦 (Greenwood Williamson)
- 集总油膜热模型（润滑油温度求解）
- 粗糙度对于液压动力学的影响（Patir-Cheng factors）
- 摩擦材料渗透率
- 摩擦材料变形
- 用户可以设定摩擦系数（常数，表或者map，随着滑移和压力变化）
- 可以用于模拟单摩擦表面结合，或者多盘结合（扭矩因子）

湿式离合器模型 (GTI compound)

- ◆ 表示执行器动力学
 - 液压，质量/惯量，复位弹簧
 - 轴（壳）和摩擦盘的轴向摩擦
 - 很容易和液压执行机构集成
- ◆ 采用单个WetClutchConn，机械零件来表示多盘湿式离合器
- ◆ 用户可以构建更详细的模型（更多自由度），每个盘和摩擦面分别采用惯量和WetClutchConn模拟



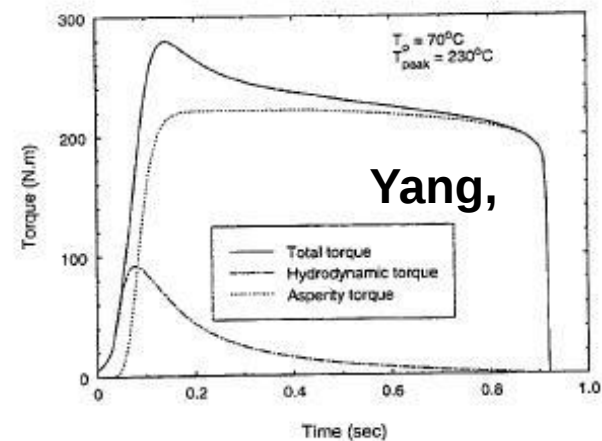
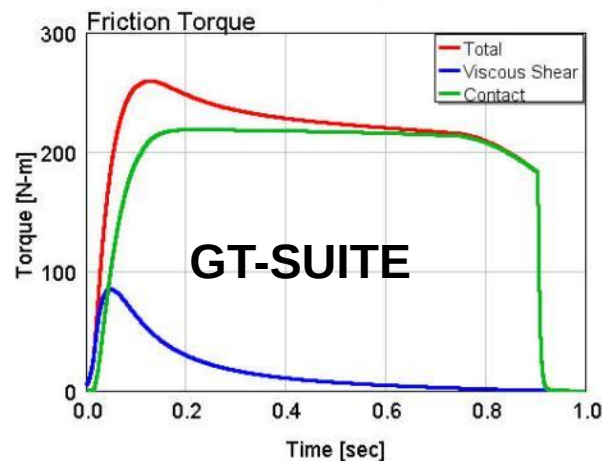
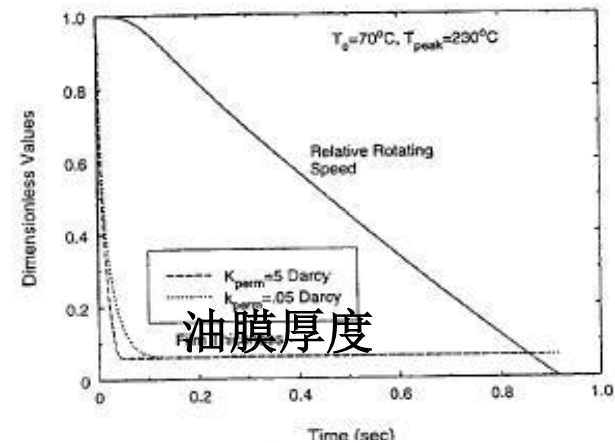
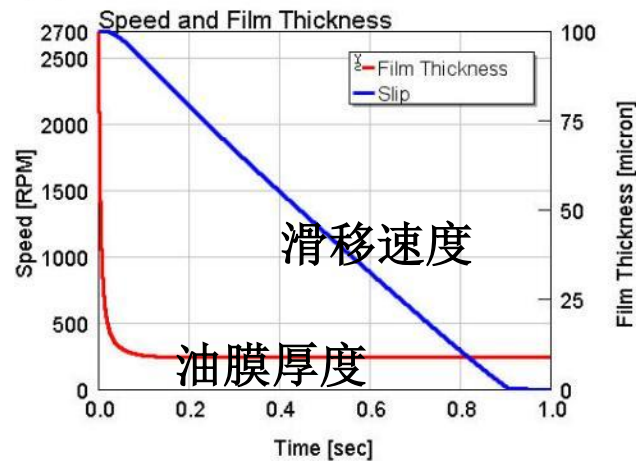
用一个惯量表示所有盘的惯量（摩擦和分离盘）



单个结合模型代表多个分离盘和摩擦表面

湿式离合器模型预测结果:

■ 与Yang, et al. 1998结果对比



GT-SUITE液压动力学和变速箱液压执行机构

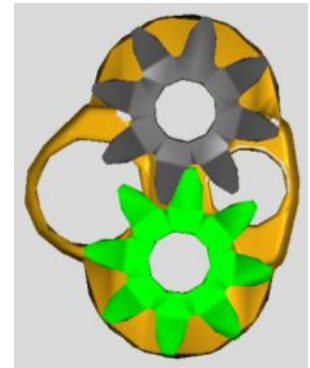
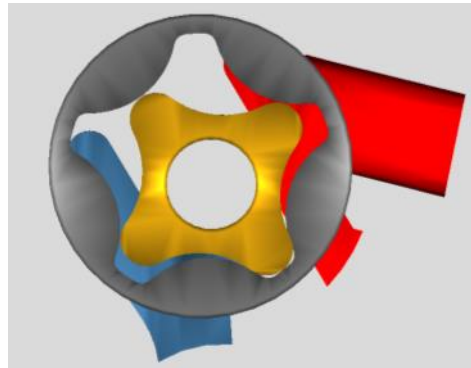
- GT-SUITE的1D流动和液压动力学：
 - ◆ 多个领域的成熟应用（喷油器，润滑，可变气门执行机构，变速箱）
 - ◆ 与1D/2D/3D机构零件无缝集成
 - ◆ 液压机械零件库
- 后面集中于变速箱的液压系统
 - ◆ 泵和润滑油回路
 - ◆ 电磁阀
 - ◆ 滑阀
 - ◆ 离合器，制动器，同步器的执行机构

泵预测模型

本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

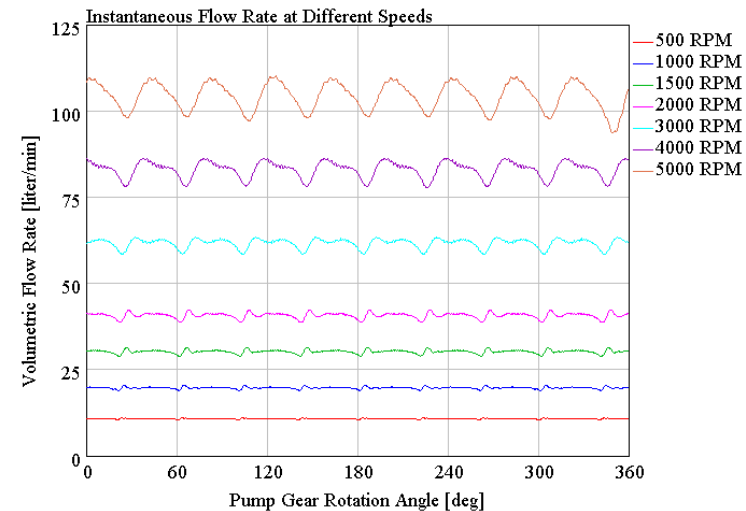
■ GT-SUITE可以建立泵的性能预测模型

- ◆ 摆线泵
- ◆ 叶片泵
- ◆ 齿轮泵

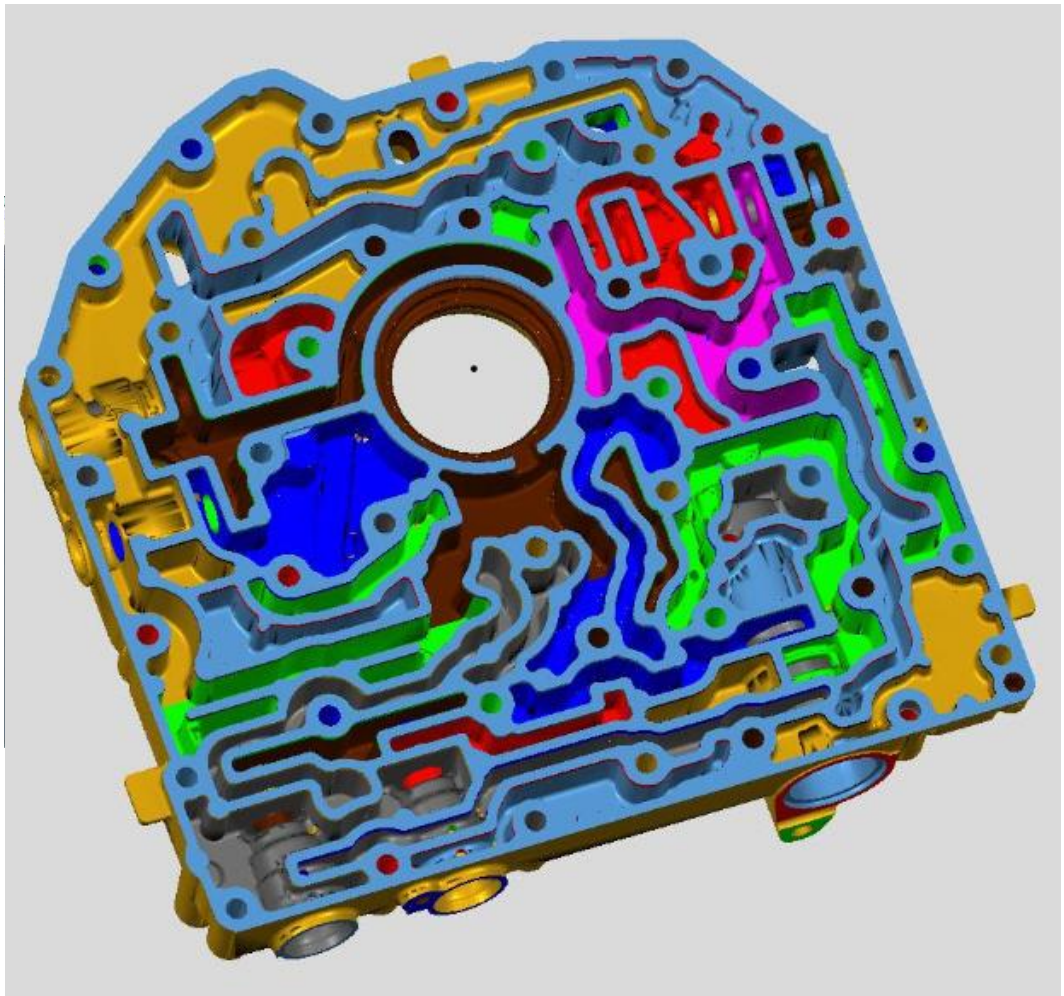
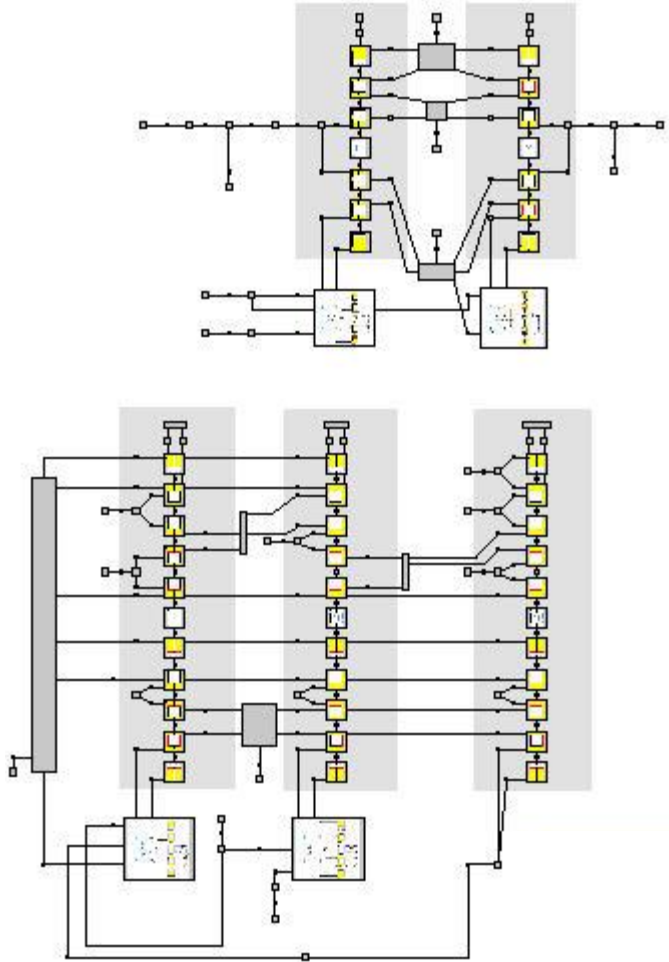


■ 计算结果:

- ◆ 因为泵几何造成的压力、流量脉动
- ◆ 气穴
- ◆ 融气的影响
- ◆ 可以模拟力的平衡



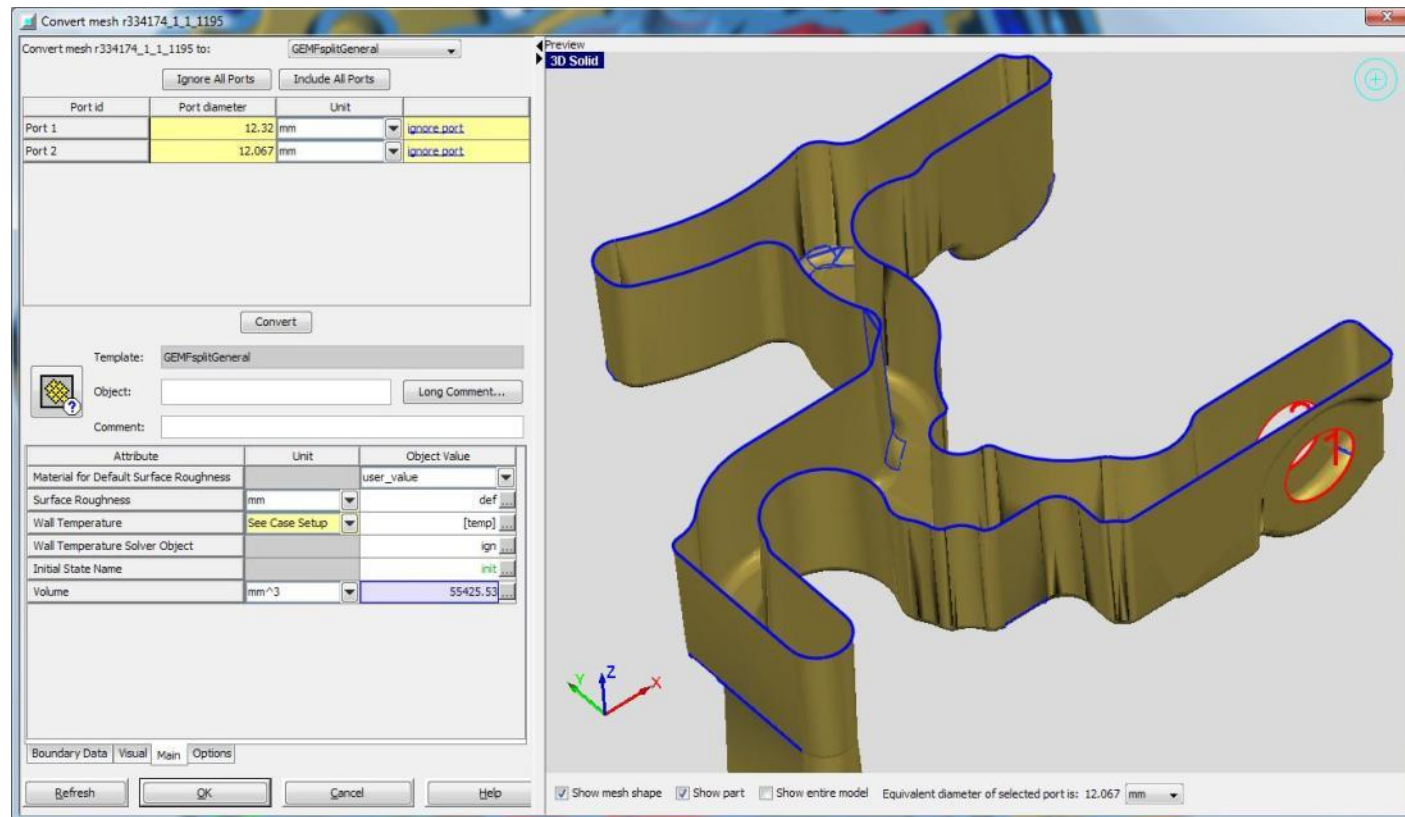
详细的滑阀体模型



[illegible]

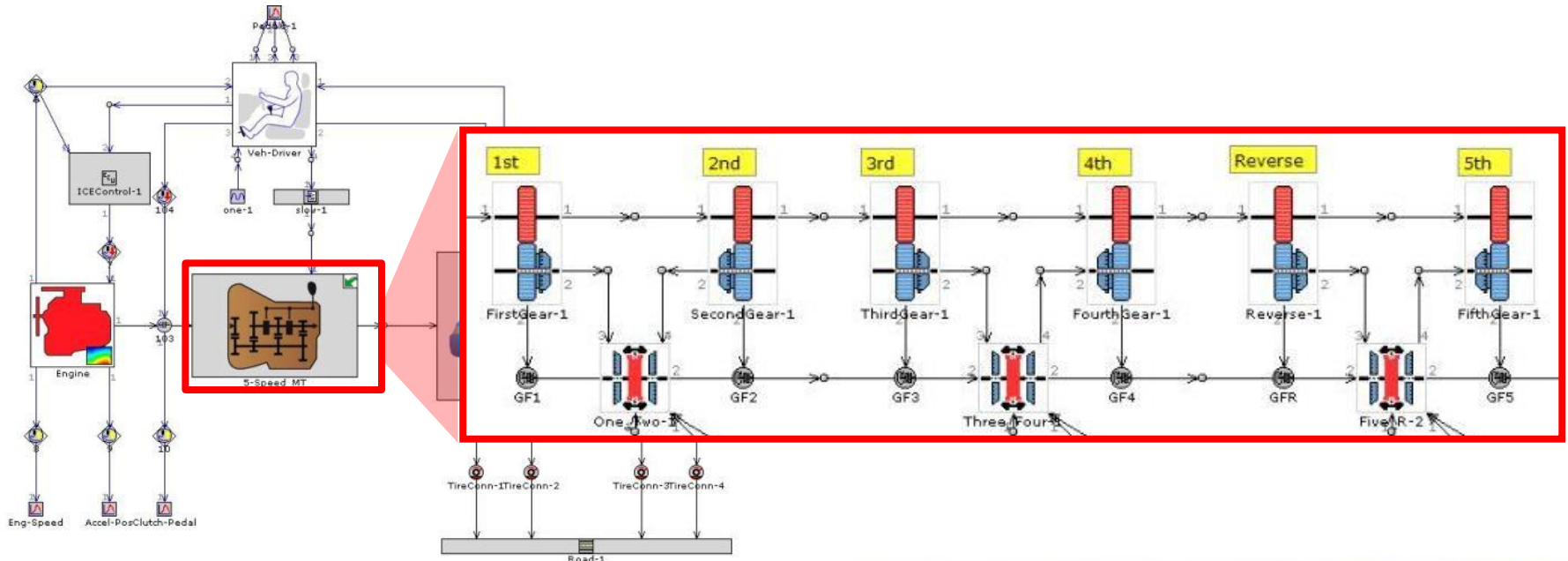
GT-SUITE 辅助建模工具 (GEM-3D)

- GEM3D将3D CAD模型离散为管路/腔体模型



手动变速箱 (MT) 建模

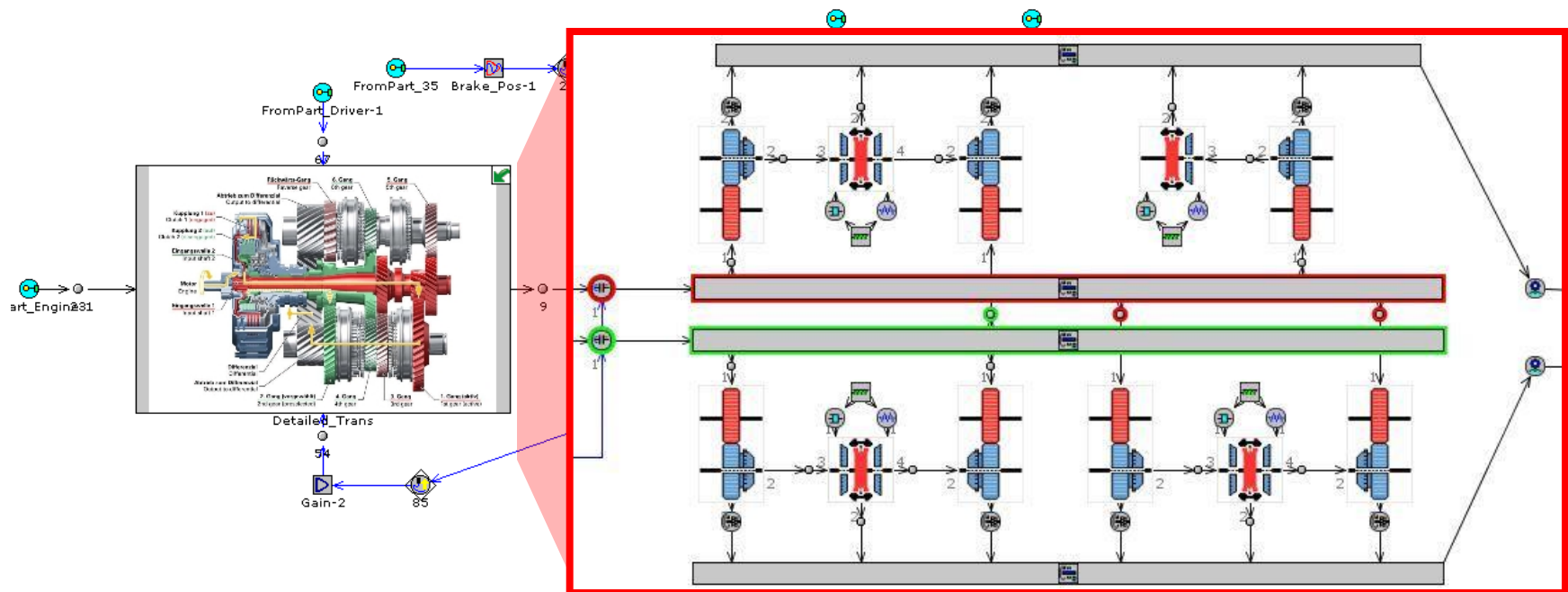
- 变速箱高精度模型（轴，齿轮，轴承，同步器等）
 - ◆ 1-D旋转机械零件（惯量，离合器等）+专业的变速箱零件（齿轮，同步器等）
 - ◆ 运动学速比，弹性动力学（螺旋齿）接触模型（可变刚度和间隙）
 - ◆ 执行器（换挡杆）通过力或者位移进行，模拟运动学或者液压



双离合器 (DCT) 模拟

本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

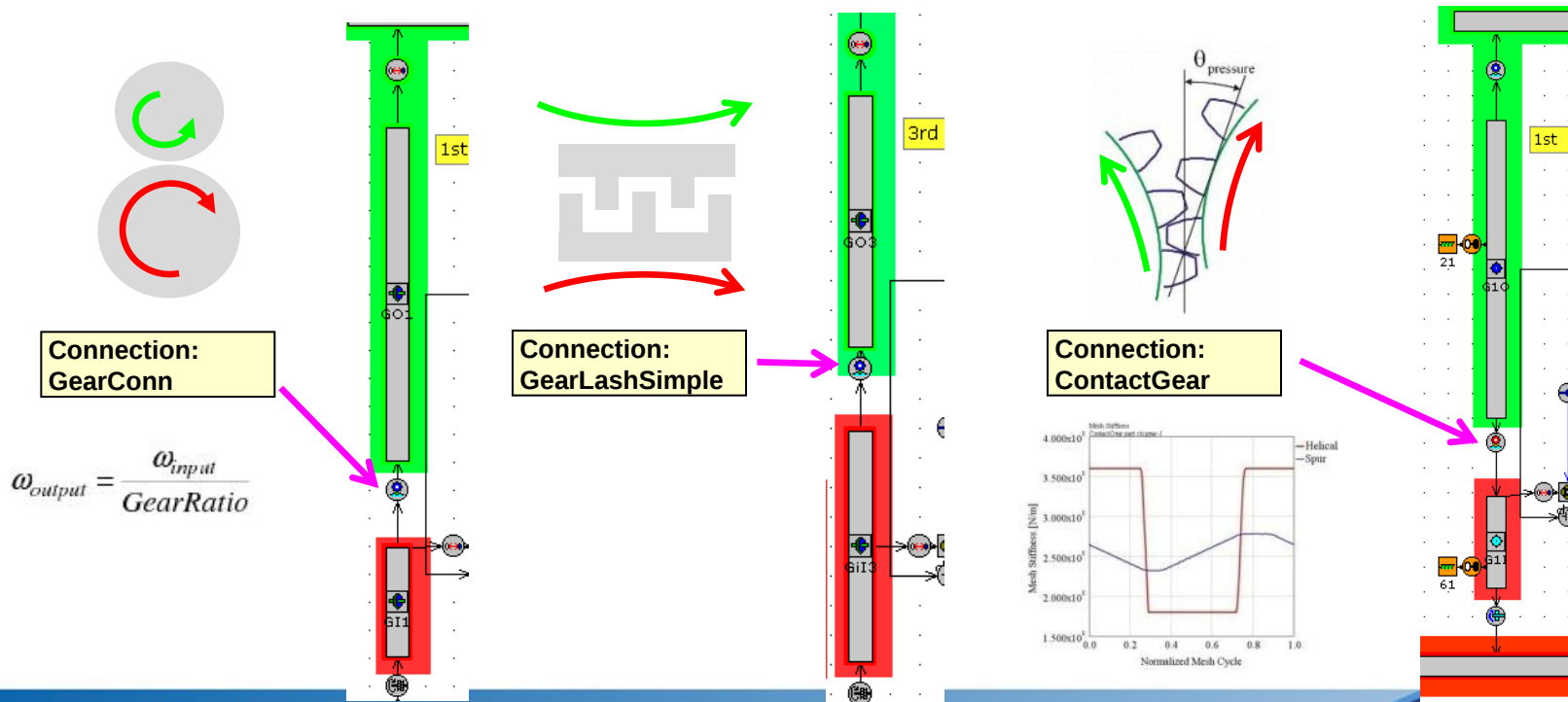
- 内部构件模型 (轴, 齿轮, 轴承, 同步器, 轴套等)
- 控制用于智能选择下一挡位的离合器结合
- 控制用于车辆发动的突然或者软结合
- 换挡质量, 燃油经济性 (例如AT, CVT等)



MT, AMT, DCT 齿轮模拟选项

■ 高级复合模板，易于所有模拟水平的封装和使用：

- ◆ GearPair： 速比约束，速度&符合相关的效率
- ◆ GearPairLash： 基本间隙和接触模型的刚性模型
- ◆ GearPairLashInv： 螺旋/直齿接触运动学，间隙和变刚度的弹性动力学

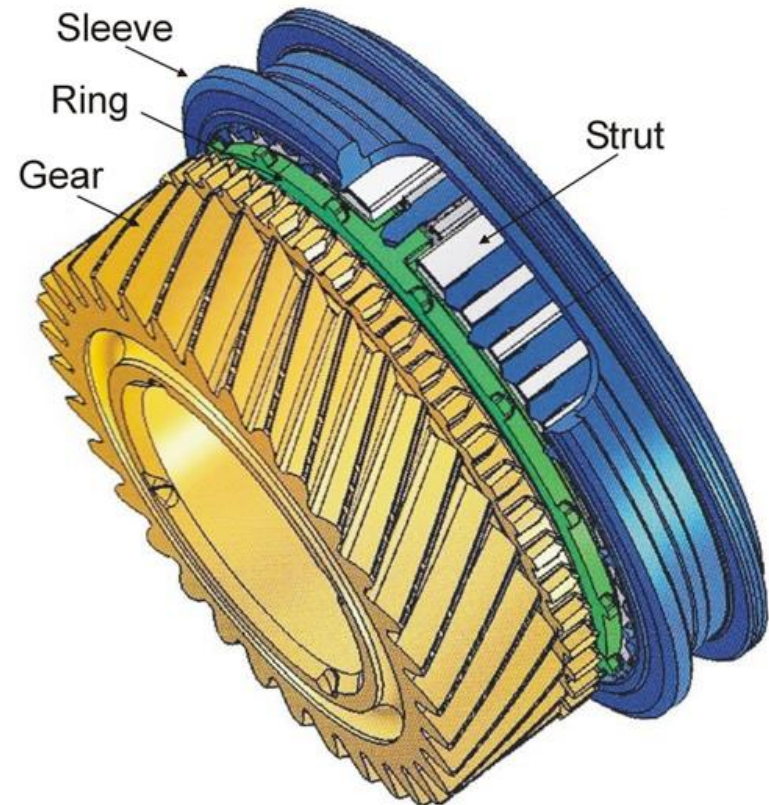


同步器模型

- 基于标准的GT-SUITE架构 (components, connections)
- 刚体 (绕Z旋转, Z方向平动)
- 复合模板, 采用了3个特殊的连接:
 - ◆ 爪型离合器 (旋转+平动)
 - ◆ 锥形表面摩擦连接 (旋转+平动)
 - ◆ 锁销 (平动)
- 用于单、双侧同步器模板
- GT-SUITE的复合模板易于构建多个变量的模板 (例如多摩擦锥同步器)

同步器模型

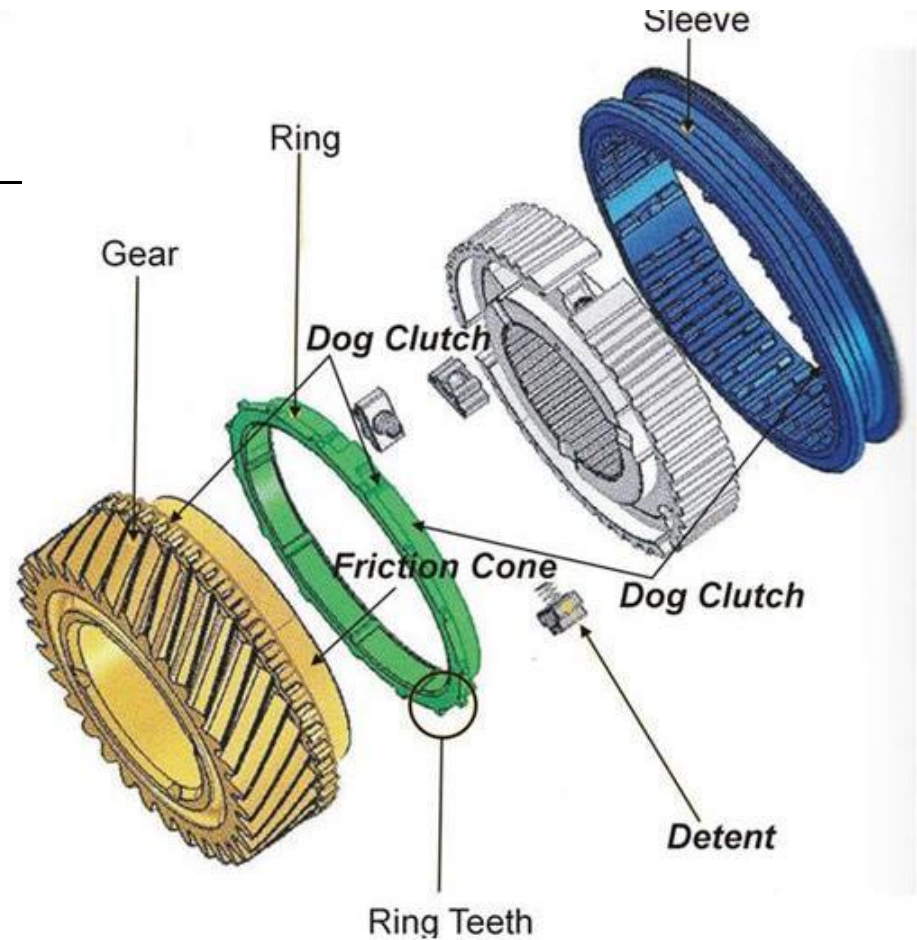
- 每个零件作为2D运动的刚体（轴向平动和转动）
- 典型的同步器零件：
 - ◆ 轴套Sleeve
 - ◆ 滑块Strut
 - ◆ 同步环Ring
 - ◆ 齿Gear



本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

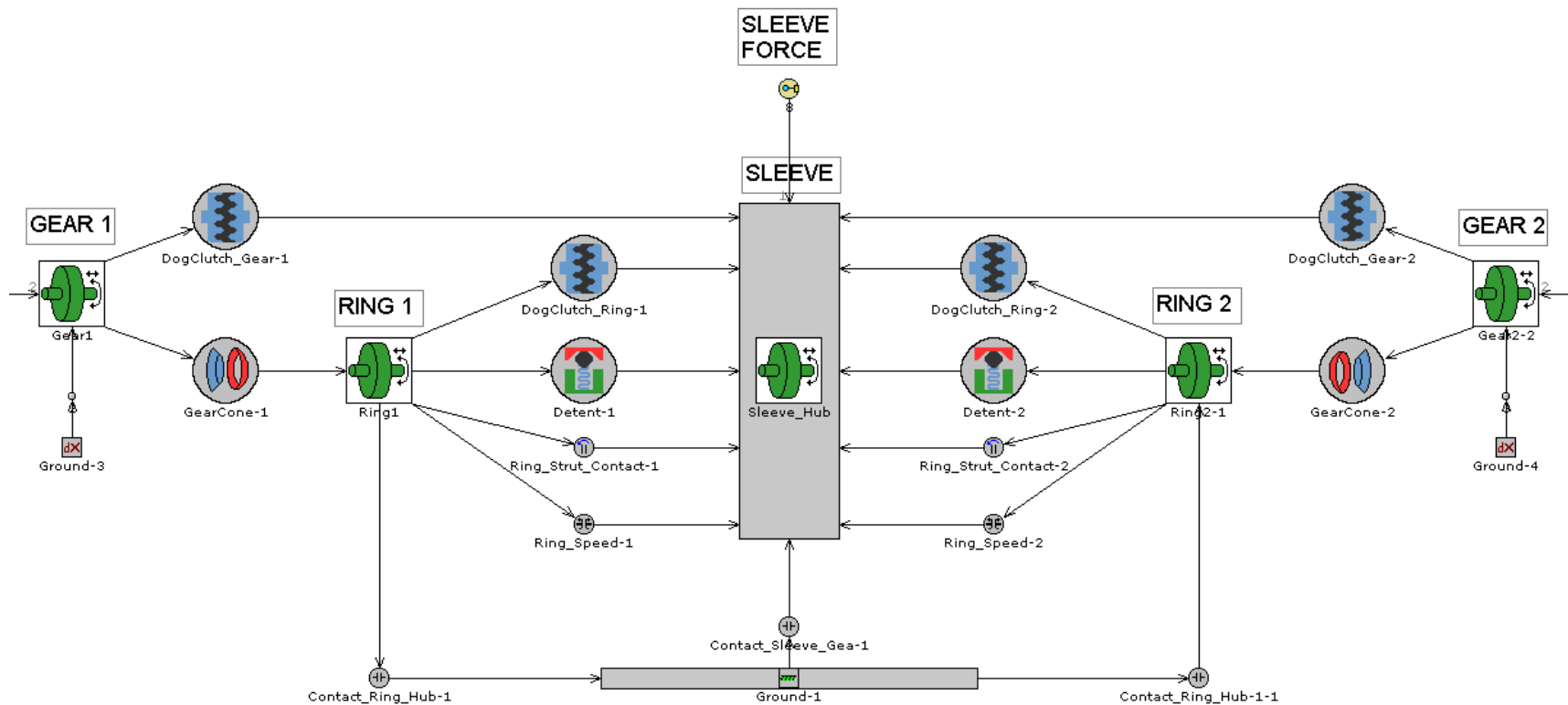
同步器的连接

- 连接模拟零件间的力：
 - ◆ 锁销Detent：滑块-套筒
 - ◆ 爪形离合器：套筒-环，套筒-齿
 - ◆ 锥面摩擦：齿-摩擦锥
- 连接是独立建立方程的，可以：
 - ◆ 多个同步器配置（单、双侧）
 - ◆ 带多个摩擦锥的配置



双侧同步器模型

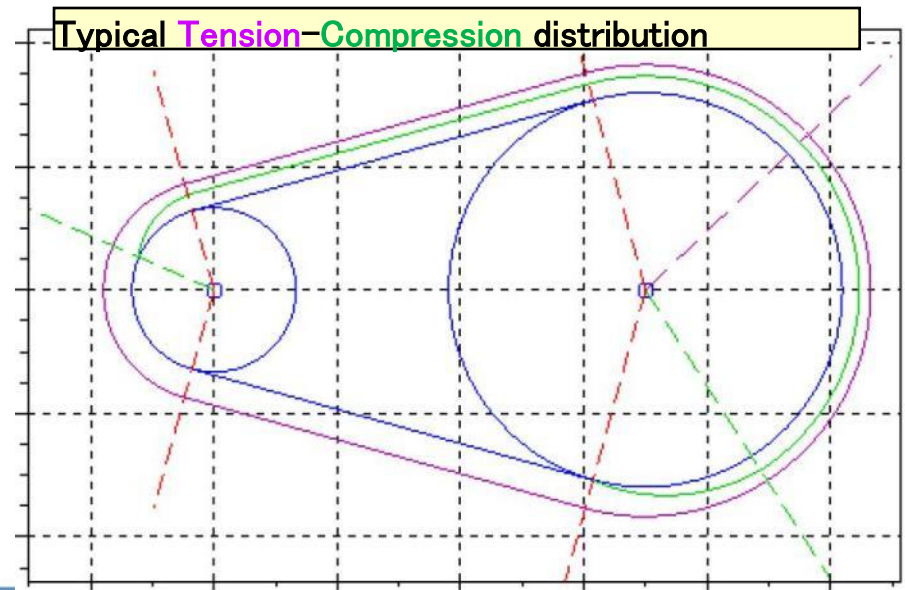
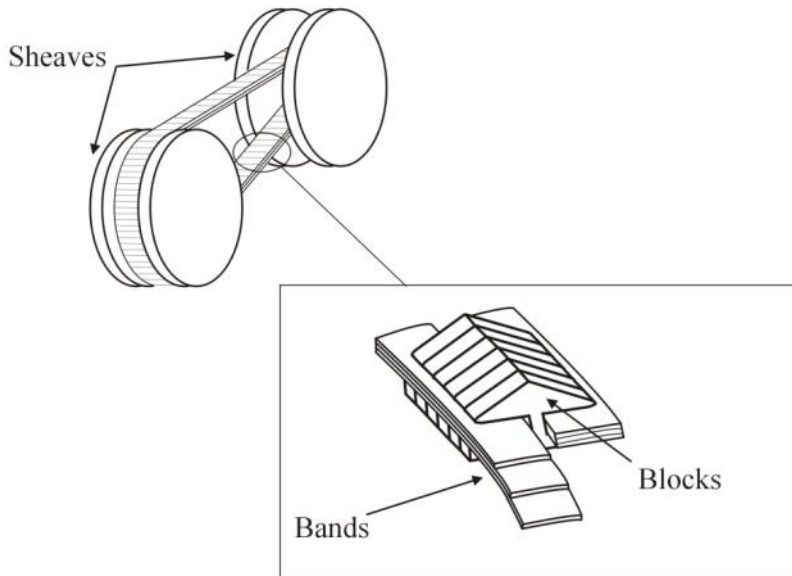
■ GT-SUITE同步器模型



带传动 CVT 模型

■ 带传动 CVT 属性:

- ◆ Van Doorne CVT系统由两个锥形带轮通过金属带连接
- ◆ 金属带由金属块block和金属环band组成
 - 金属块受压，传递扭矩、功率
 - 金属环将块连在一起，受拉

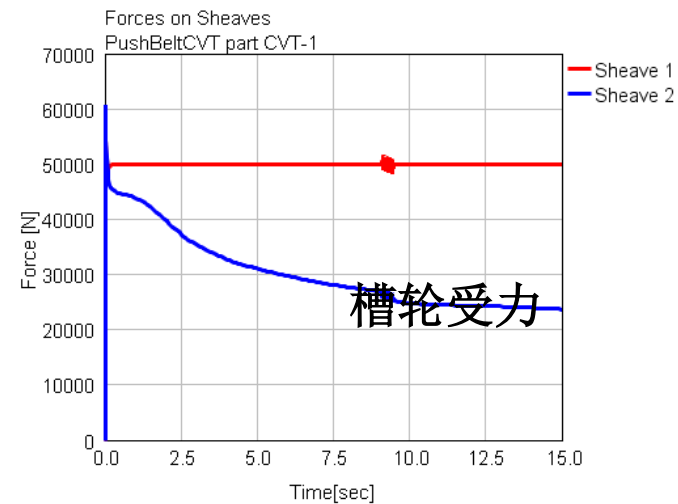
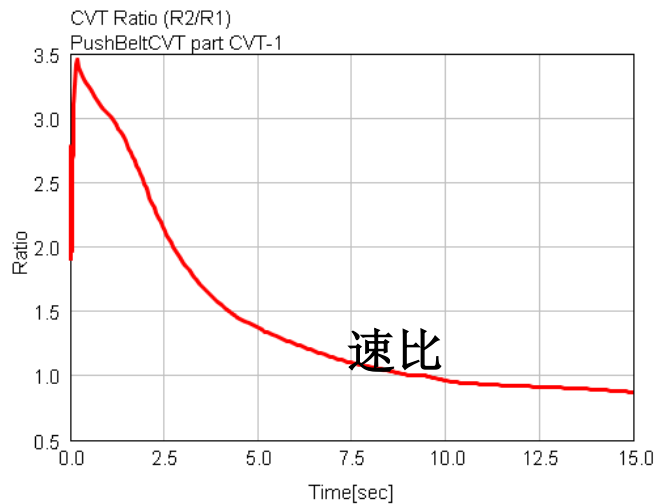
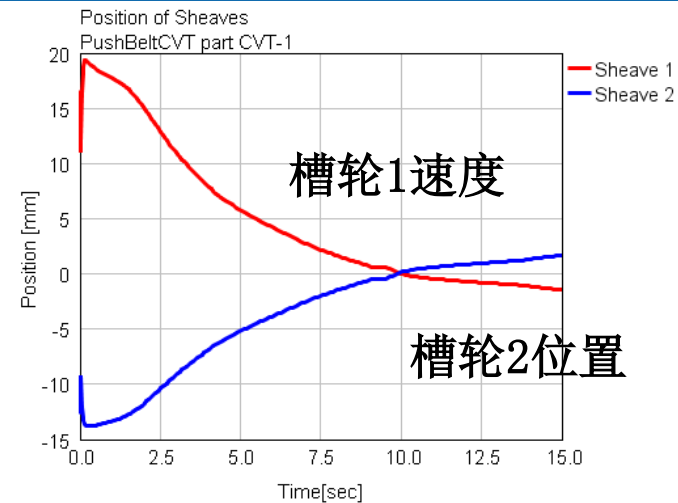
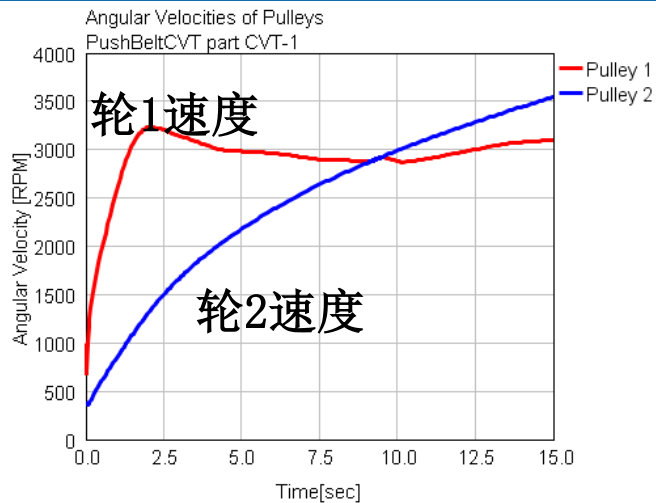


GT-SUITE CVT带模型

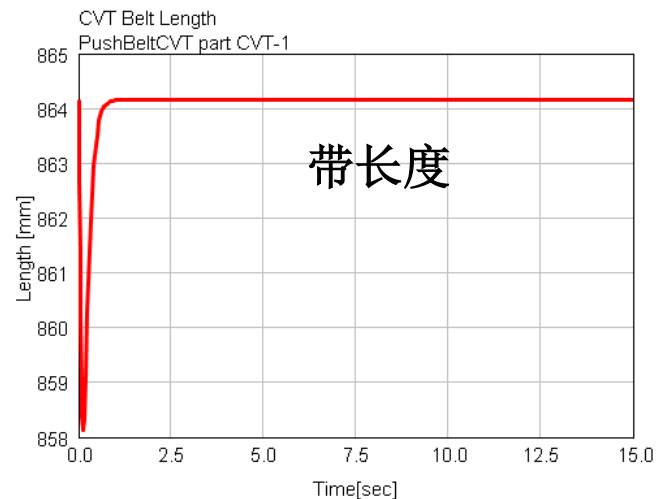
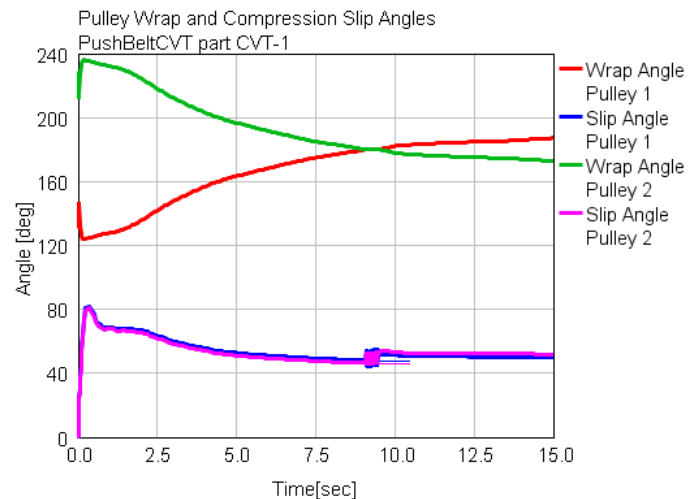
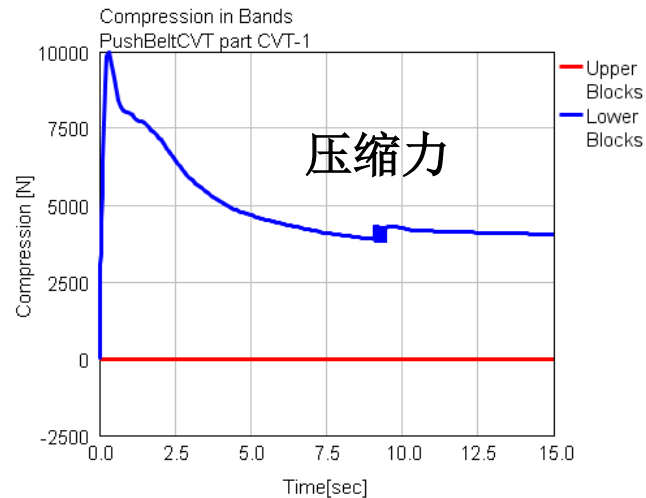
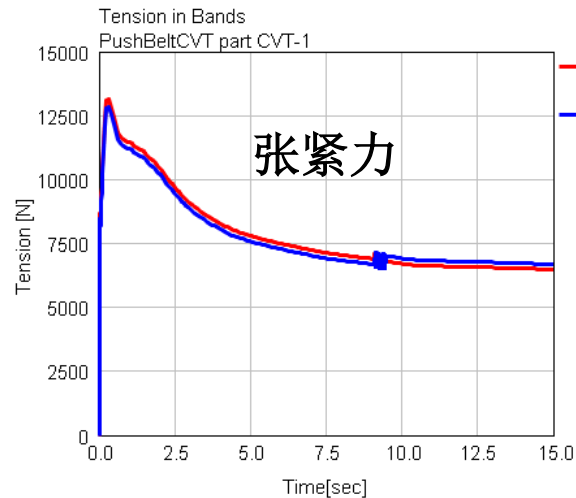
本文来自:www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询:support@idaj.cn

- 可以用于车辆仿真，需要相对快速运行模型
- 建模基于 Kobayashi (1998), Brix (2005)
- 准确捕捉槽的夹紧载荷
- 可以有两个选项：
 - ◆ “Rigid”：带轮间两个约束
 - ◆ “Elastic”：弹性块和环 - Gamma公司进行的模型扩展
- 模型有两个槽（线性机械）端口，可以很容易与液压或电磁力执行机构集成
- 两个选项都可以与槽上施加的线性位移或者力协同工作

CVT 带模型输出 I

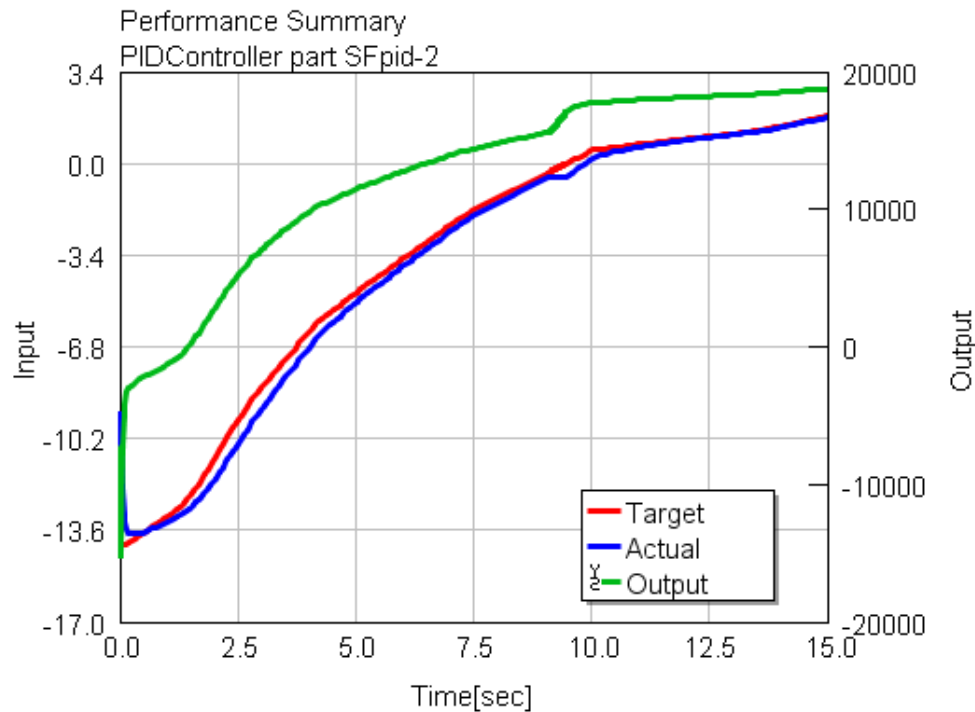


CVT 带模型输出 II



CVT控制

- 速比map（随速度和载荷变化）。基于模型的控制器也输出目标法向夹紧负荷，槽轮位置等用于执行机构控制（例如液压系统换向阀）



CVT全油门加速： 目标和实际速比，槽轮1受力

离散变速控制

本文来自: www.idaj.cn

谢绝未经IDAJ许可的转载!

技术咨询: support@idaj.cn

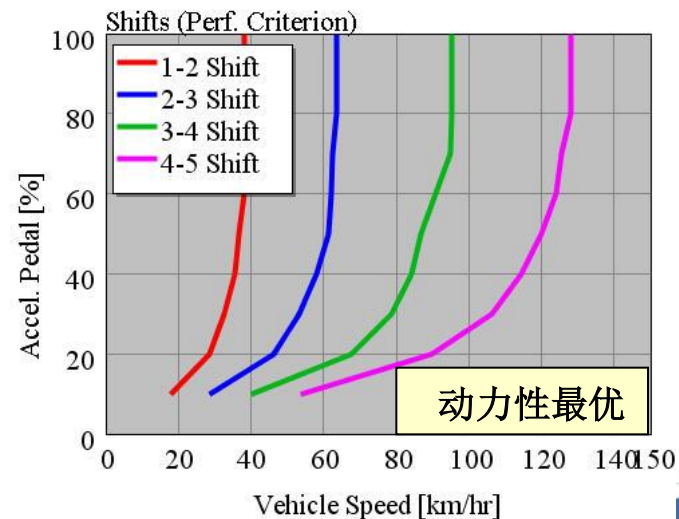
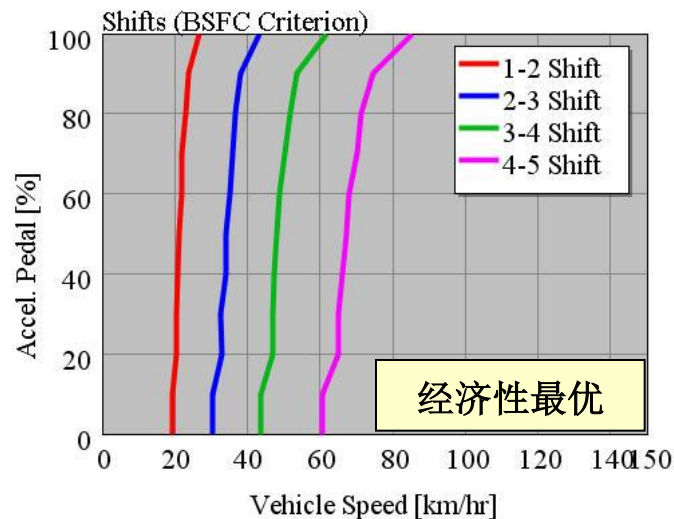
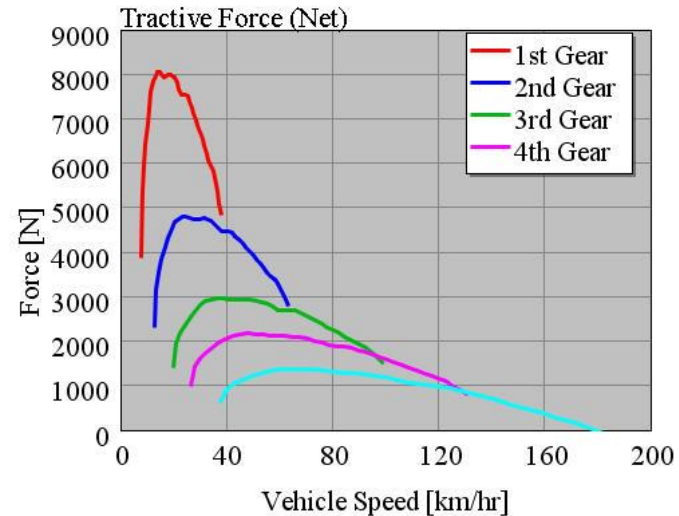
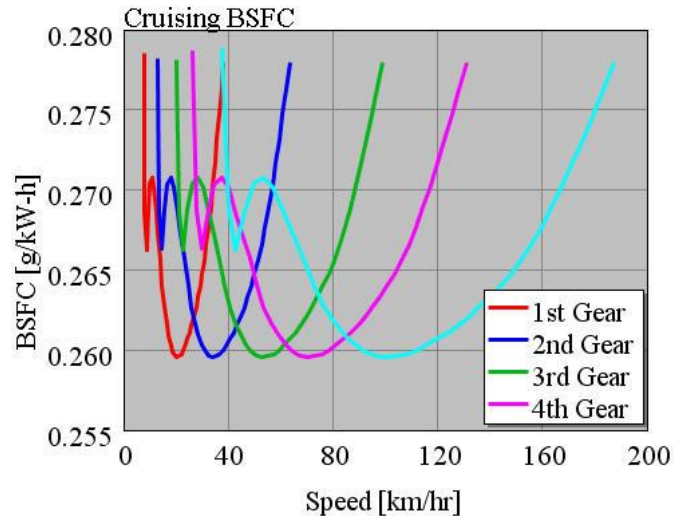
- 封装的离散换挡策略对象 TransShftStgy 可以用于MT, AMT, DCT, AT
- 换挡策略可以使用静力学分析设计
- 很容易定义, 自动执行换挡
- 换挡点设置为车速或者发动机转速
- 可以是任意载荷参数 (例如踏板位置) 的函数

Attribute	Unit	Gear #1	Gear #2	Gear #3	Gear #4
Gear Number		1	2	3	4
Vehicle Speed at Gear Up-Shifts	km/hr	ign	SH1-2	SH2-3	SH3-4
Vehicle Speed at Gear Down-Shifts	km/hr	ign	SH2-1	SH3-2	SH4-3

Object: SH2-3
Comment: X Data = Throttle; Y Data = Vshift

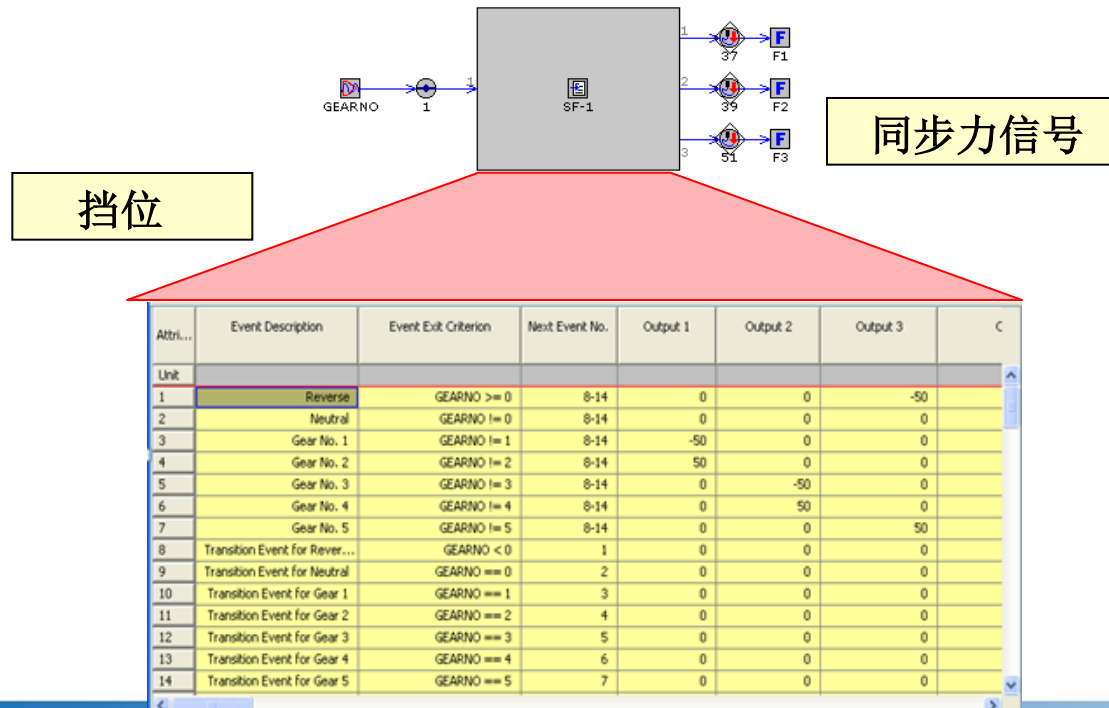
Attri...	X Data	Y Data
Unit		
1	0	45
2	35	45
3	90	70
4	100	70

静力学分析进行换挡策略设计与优化



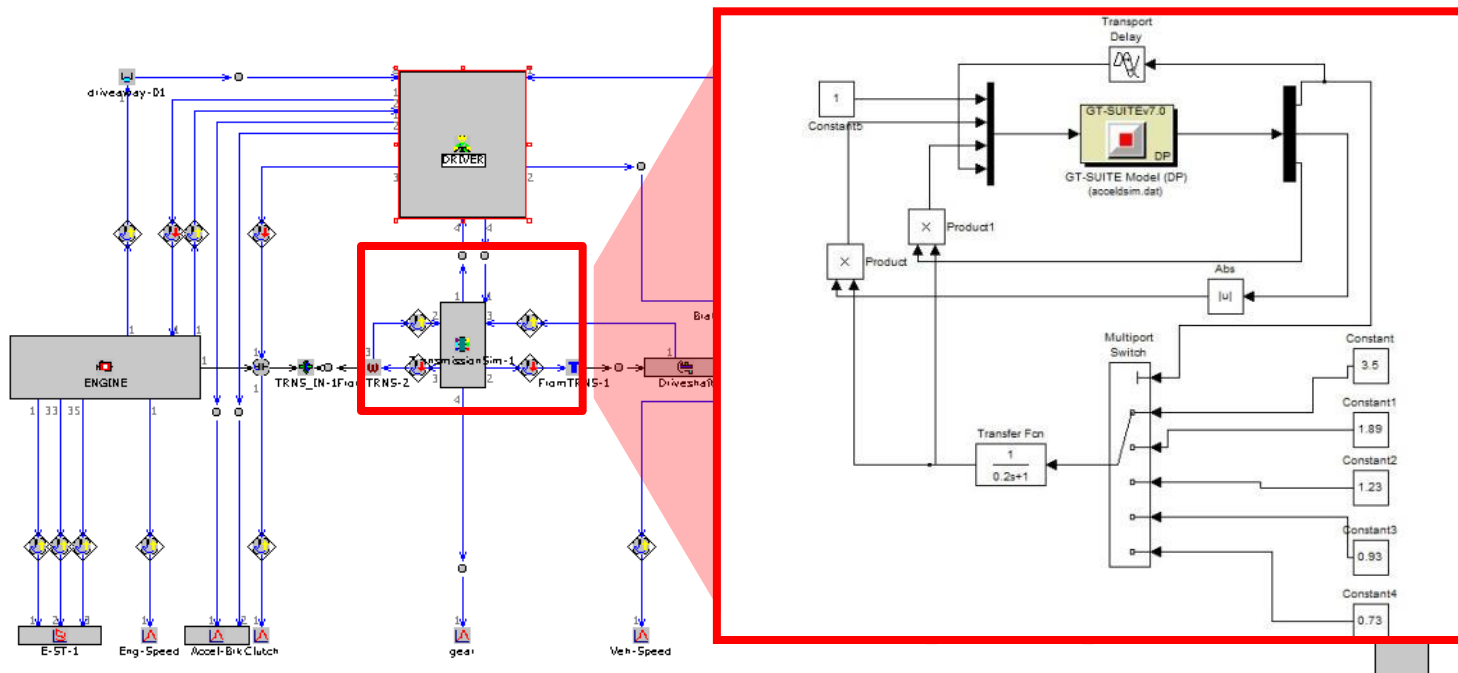
控制的执行

- 很容易通过EventManager 将基于挡位的换挡策略转换为执行器力或者压力信号，用于液压执行机构
- 用于将任何输出信号翻译为同步器执行阀的作用压力（MT），鼓式制动或者湿式离合器 (AT, AMT, DCT) 执行阀的压力。



嵌入式Simulink变速箱模型

- 另外，用户可以使用Simulink建立的变速箱模型，用于GT-SUITE：
 - ◆ 发动机扭矩--> Simulink
 - ◆ Simulink --> 发动机侧速度，车辆侧扭矩

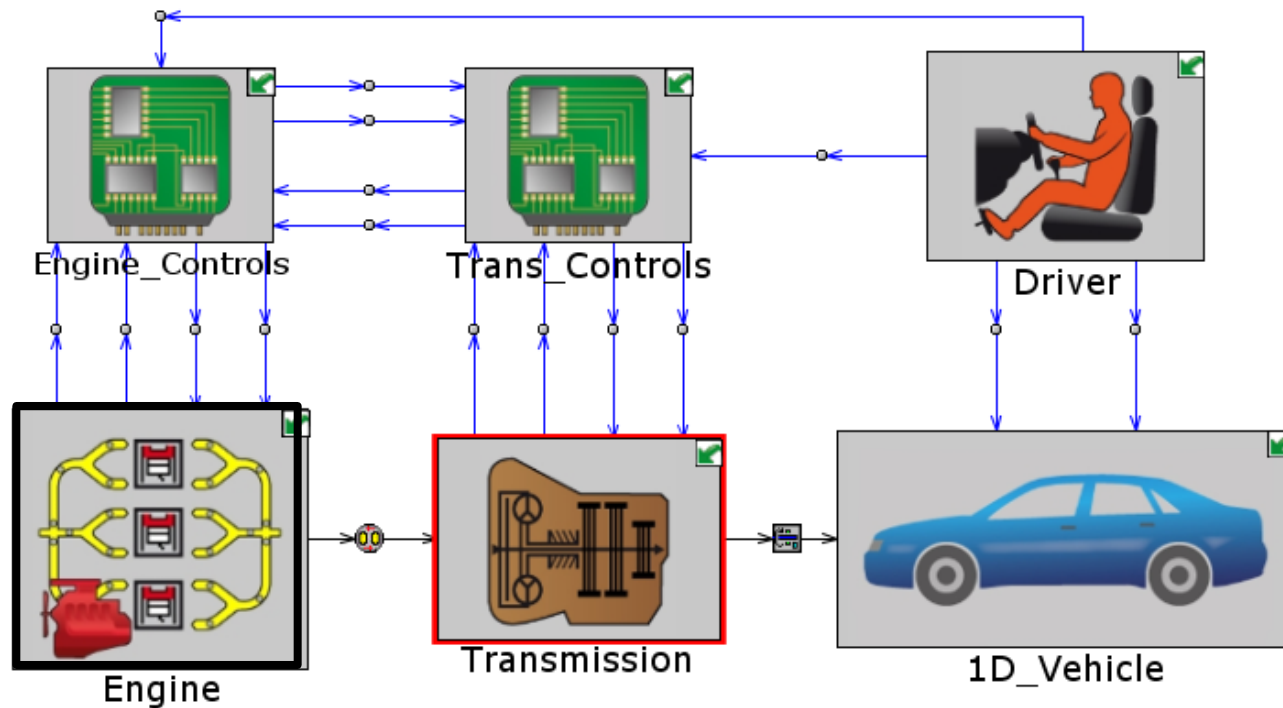


Your True Partner for CAE&CFD ICSC2014



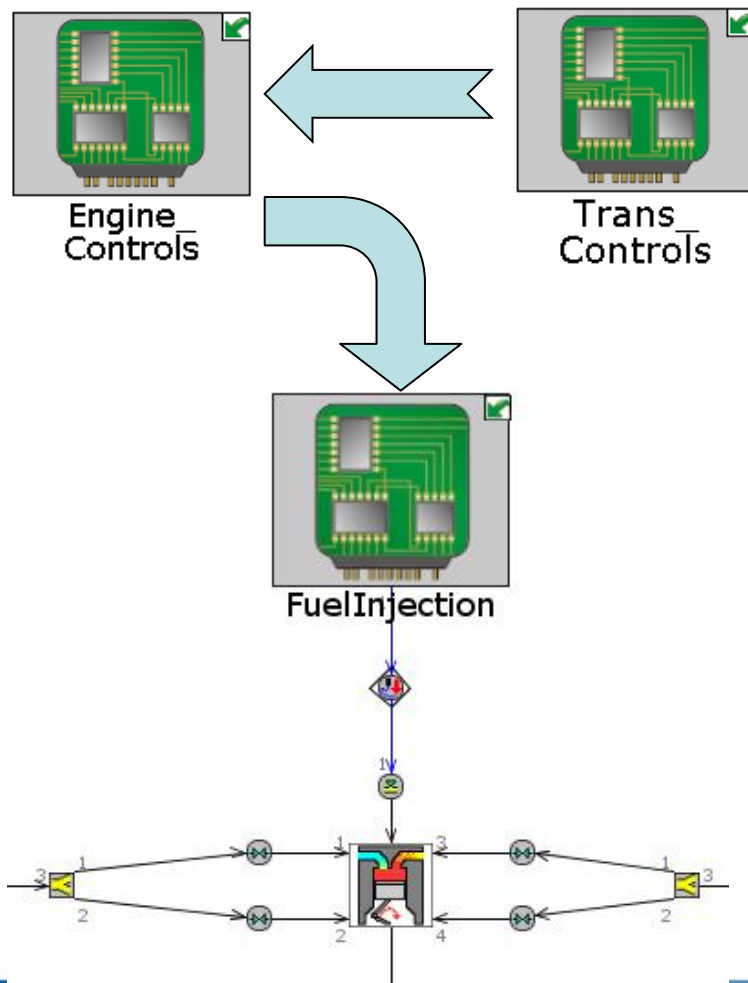
■ 变速箱和传动系统应用

发动机、车辆和变速箱模型



动力学发动机才能提供准确的扭矩变化, 而这是map模型不能提供的

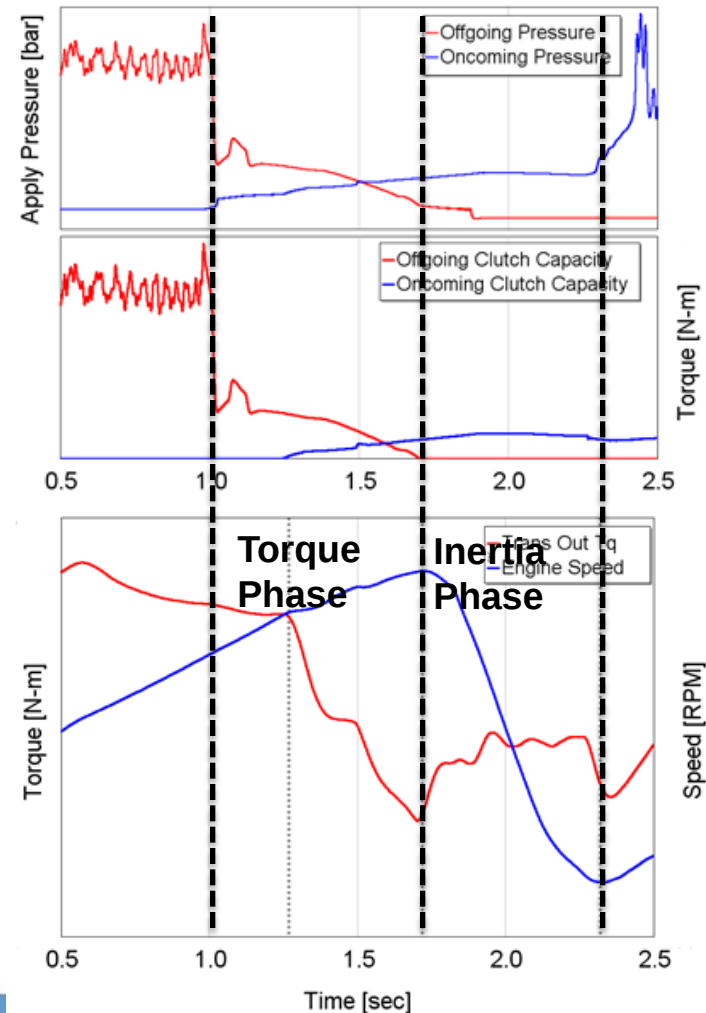
算例：换挡质量控制



换挡控制包括了换挡策略
挡位切换瞬间，要使发动机降低扭矩（惯性阶段）
因为时间短促，一般通过延迟点火或喷油，以加速响应

算例：详细自动变速箱模拟

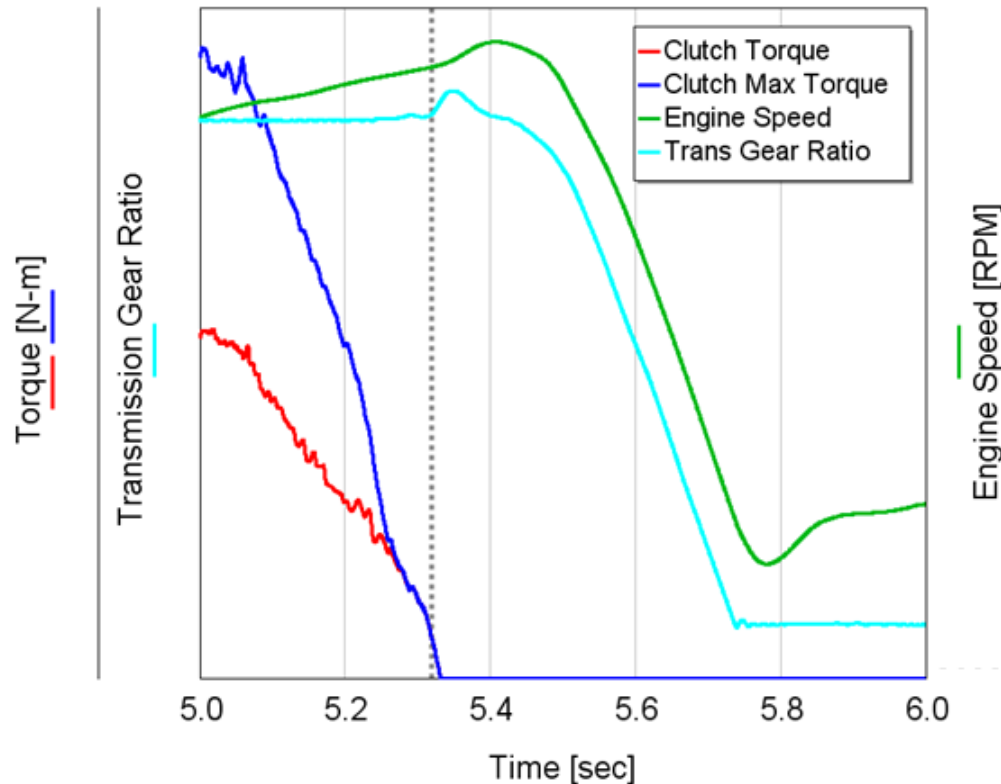
- 5速乘用车自动变速箱升档同步过程的初步结果
- 精确捕捉离合器压力，离合器传递扭矩能力变化，扭矩始点，惯性阶段



详细自动变速箱模拟

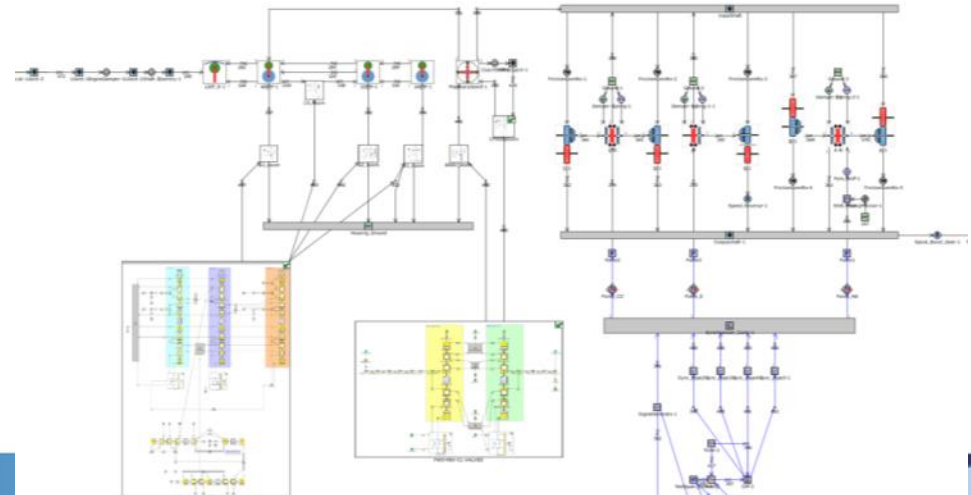
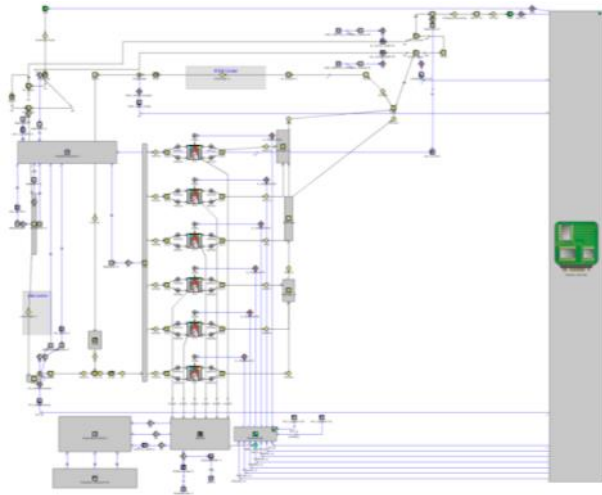
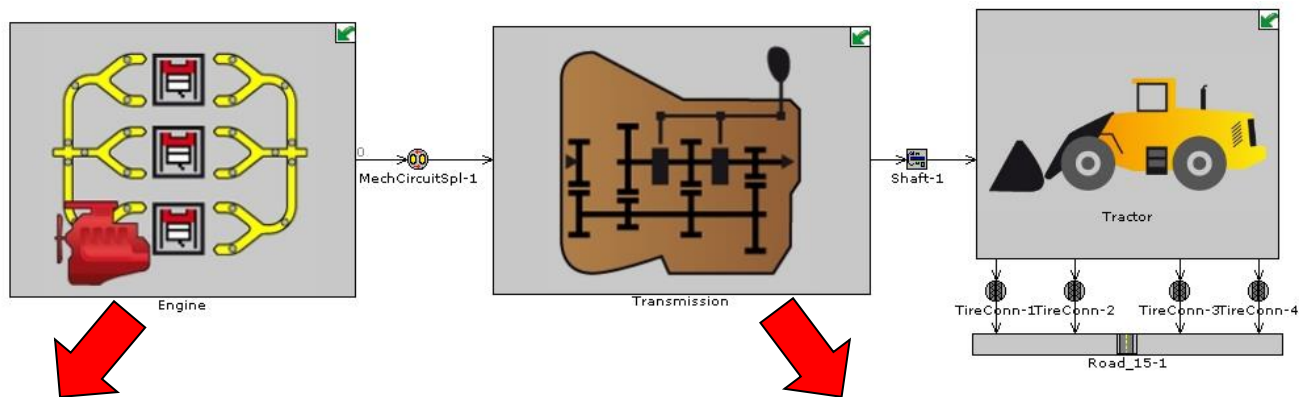
本文来自: www.idaj.cn
谢绝未经IDAJ许可的转载!
技术咨询: support@idaj.cn

- 可以用于诊断特殊的换挡控制质量问题: 发动机飞速或者离合器锁死
- 示例: 发动机因为离合器能力不足而飞速 (速度快速升高)

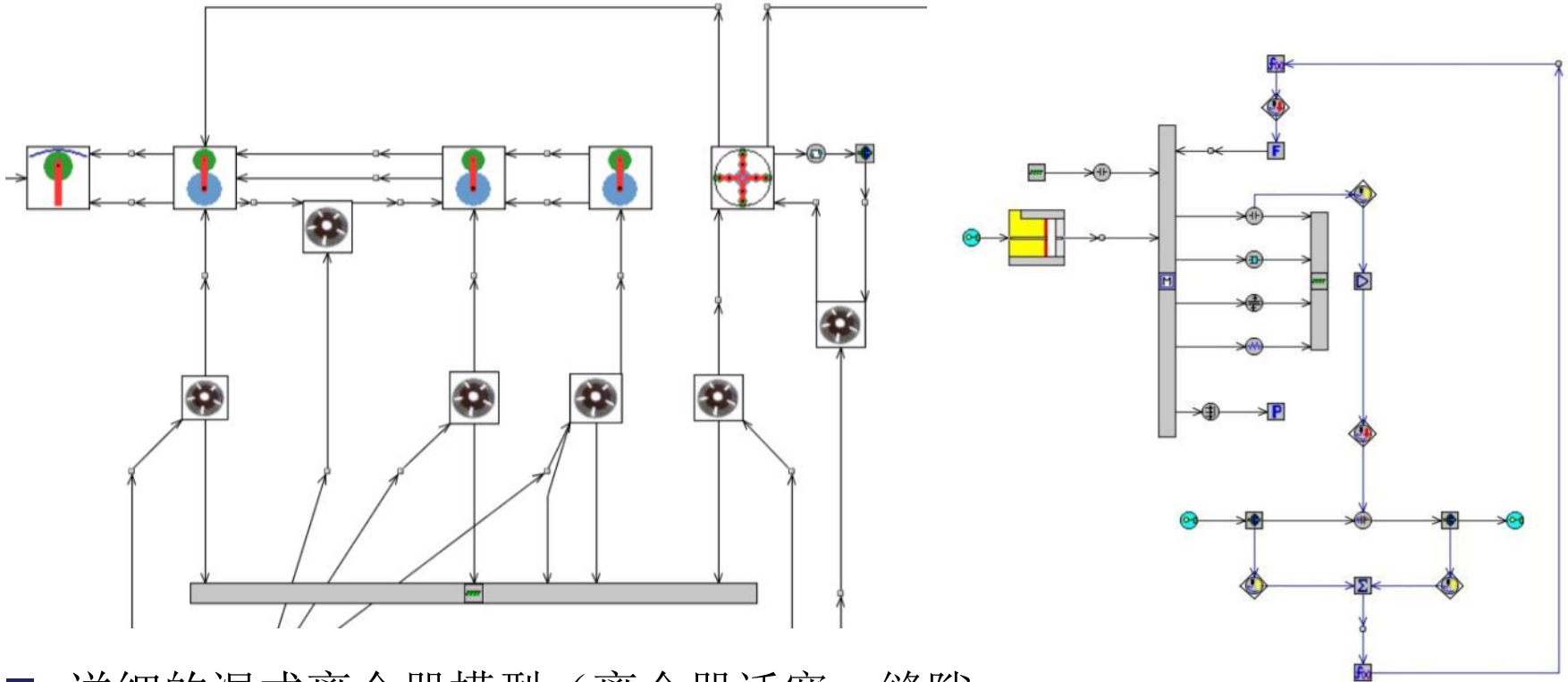


算例：详细的农用机械变速箱模拟

- 用于农用拖拉机的20速“PowerQuad”变速箱 GT-SUITE benchmarking模型
- GT-SUITE FRM + Transmission + Simulink集成仿真



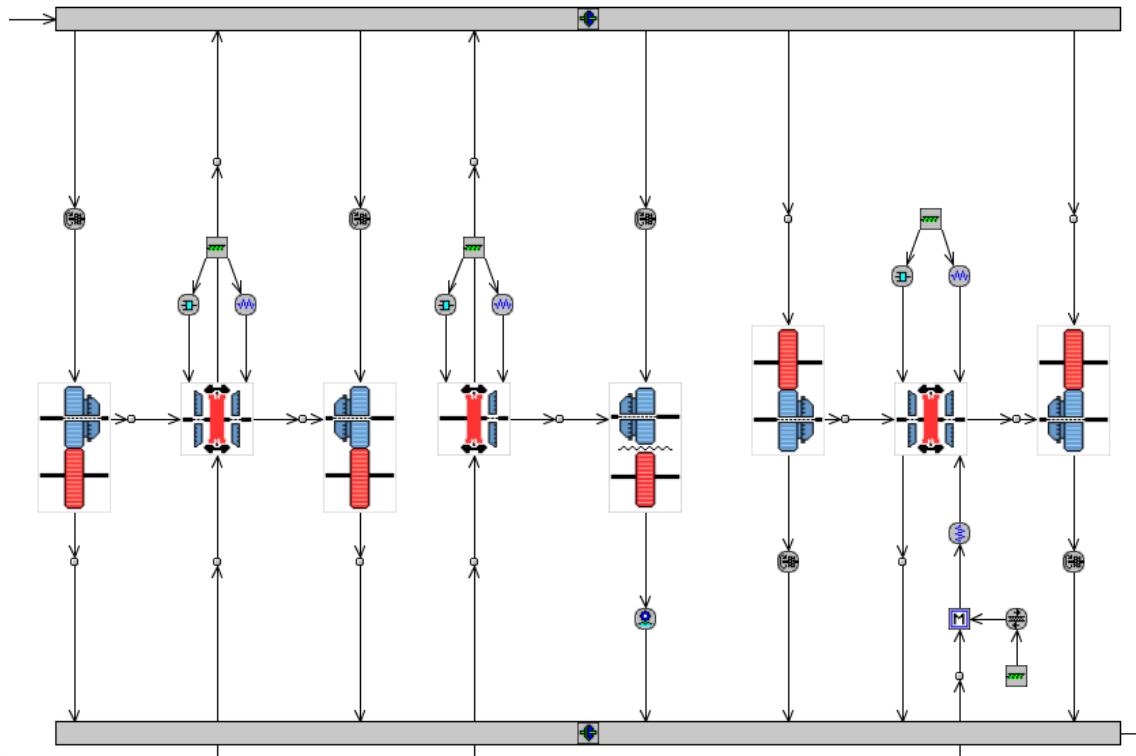
算例：详细的农用机械变速箱模拟



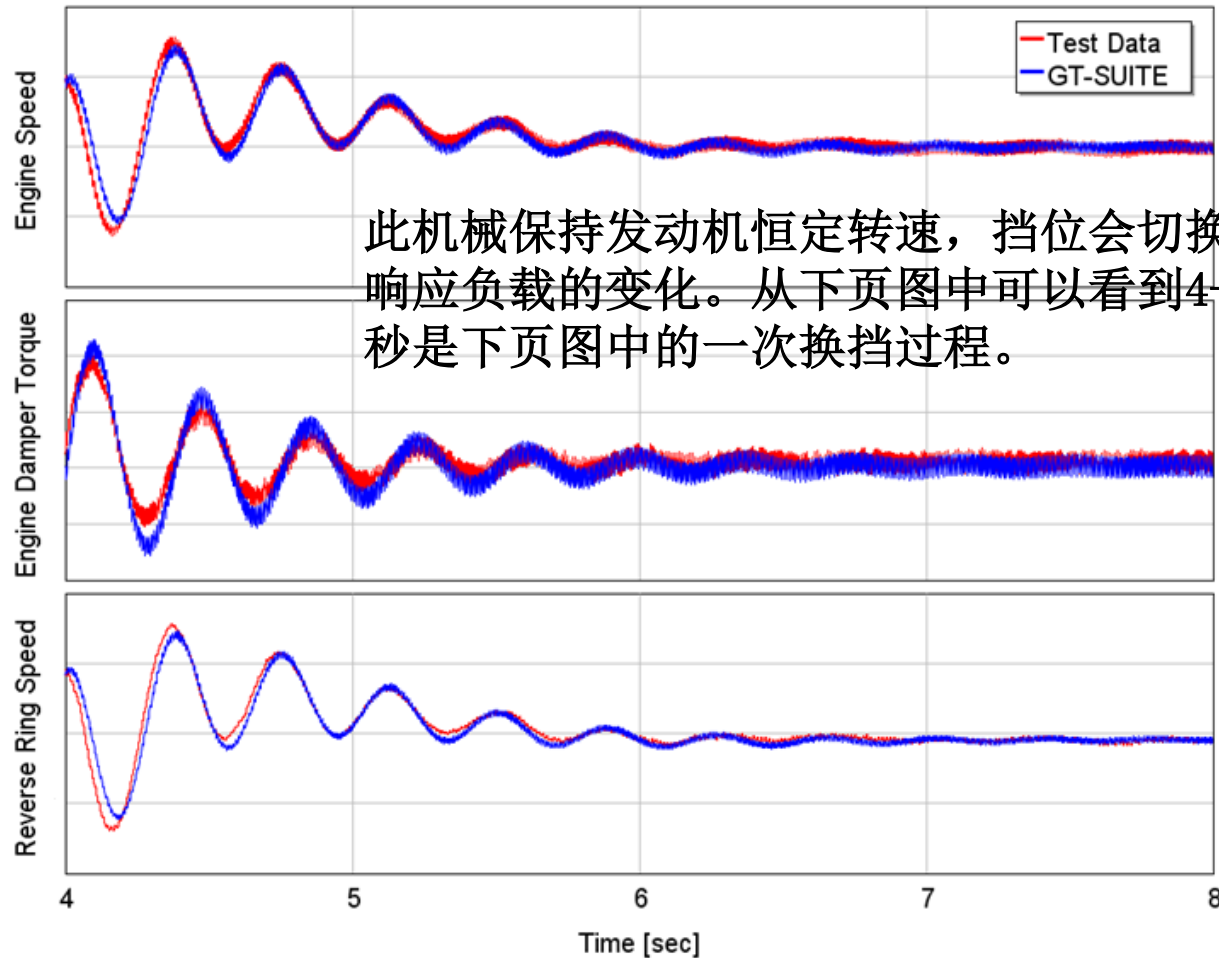
- 详细的湿式离合器模型（离合器活塞，缝隙，摩擦材料刚度，滑移/摩擦相关的摩擦系数map

算例：详细的农用机械变速箱模拟

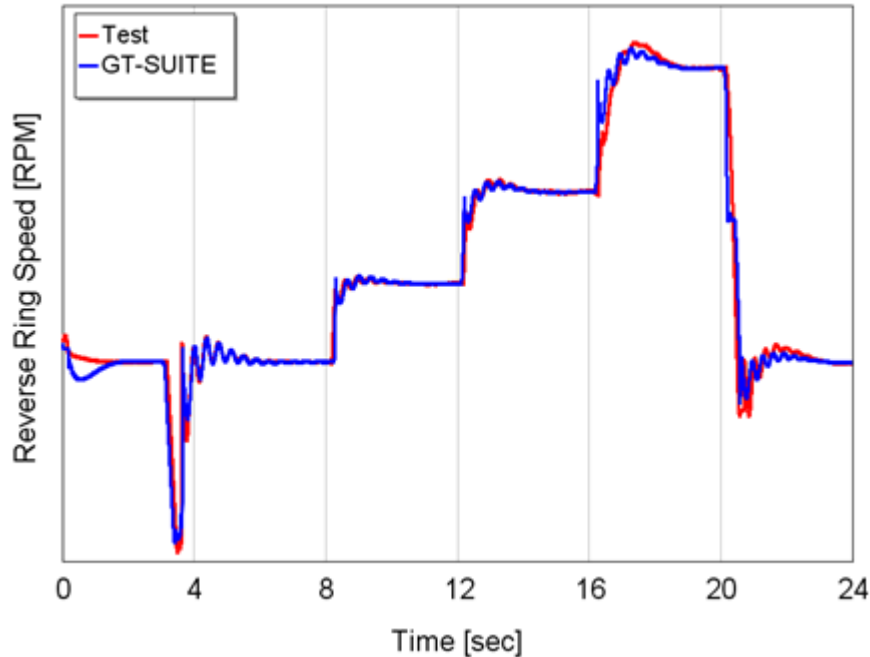
- 5速可选“rangebox”，详细的同步器模型和2D渐开线齿轮模型
- 换挡杆刚度和轴摩擦也进行了模拟



算例：详细的农用机械变速箱模拟

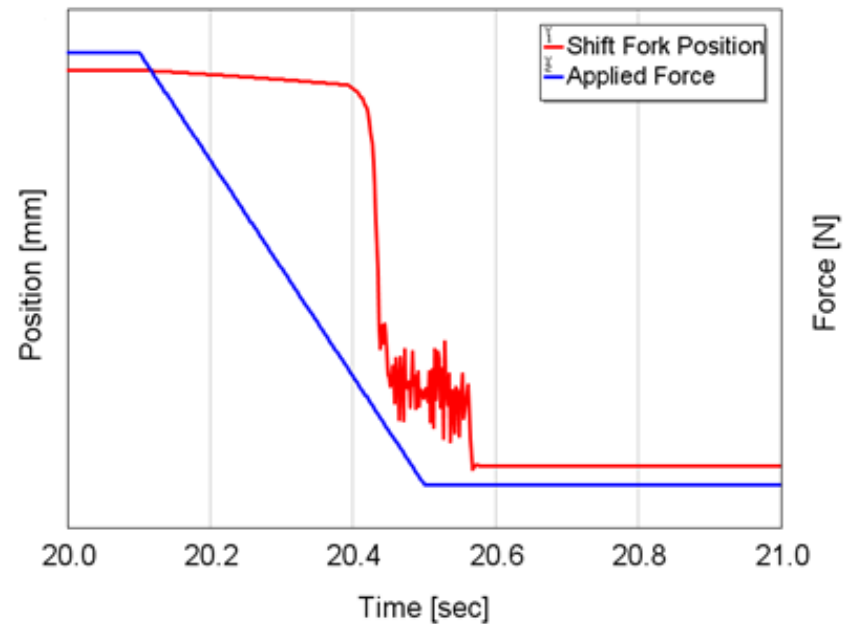


算例：详细的农用机械变速箱模拟



- 详细的同步器模型，可以考虑锁销跳齿，间隙碰撞等
- 可以评估换挡质量，例如换挡力的需求和同步时间

- 研究发动机控制对于低、高频的影响，扭转刚度对于速度和扭矩响应的影响。
- 评价换挡质量控制和零件选型



Your True Partner for CAE&CFD **ICSC2014**



谢谢大家！