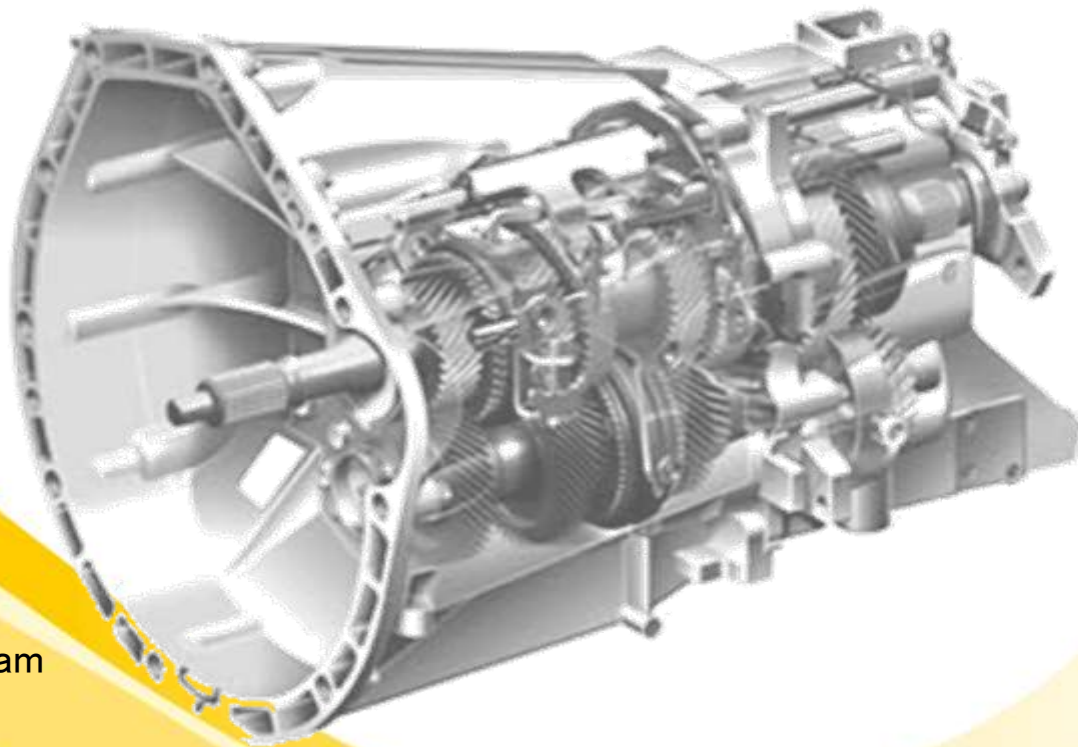


GT-SUITE 变速箱模拟



所属: IDAJ GT-Team

- 所有公司名, 产品名, 服务名是 各个公司的商标或登记商标以及服务商标。
- 本资料包括保密信息。没有得到敝公司的同意, 请不要使用, 发布, 复制本资料或本电子档。

内容

- GT-SUITE 变速箱模拟概述
- 燃油经济性，排放，& 整车性能
- Powerflow Layouts 功率流布置设计
- 润滑，暖机，损失预测
- 换挡品质与驾驶性能
- 高频动力学分析
- GT-SUITE 优势

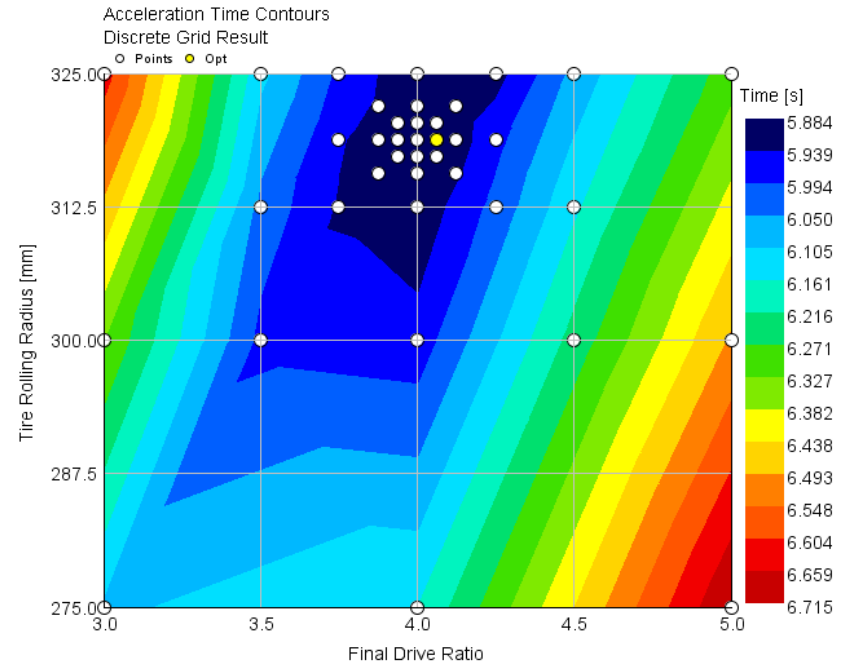
变速箱模拟应用

- 燃油经济性，排放，&整车性能
 - 变速箱降速比和效率需要被模拟
- 能量流布置
 - 基于功率流和离合器/同步器的应用计算变速箱运动学
- 能量损耗和暖机
 - 预测的能量损耗模型能够基于转速、扭矩和温度去计算变速箱效率和暖机
- 换挡品质和驾驶性
 - 机械驱动（同步器）和液压-机械（湿式离合器）耦合器和执行机构
- 变速箱高频动力学
 - 高保真度的柔顺性、齿轮接触运动学、间隙等的模拟

• 复杂度增加

燃油经济性, 排放, 整车性能

- 简化的运动学变速箱模型
提供快速计算
- 可以进行完整驾驶循环分析
- 部件优化和实体的
Pareto 分析, 例如齿轮
速比

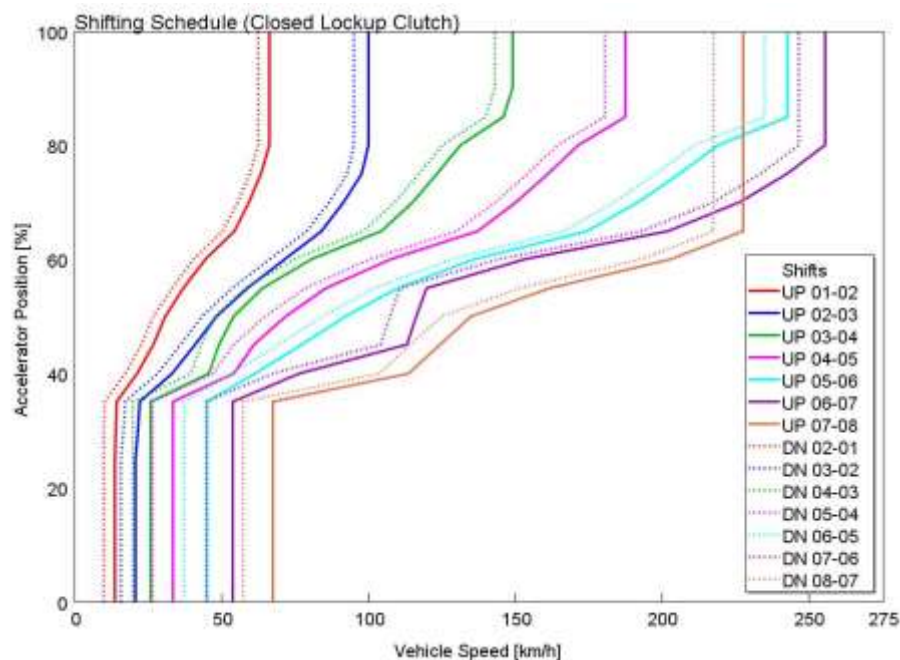
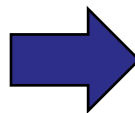
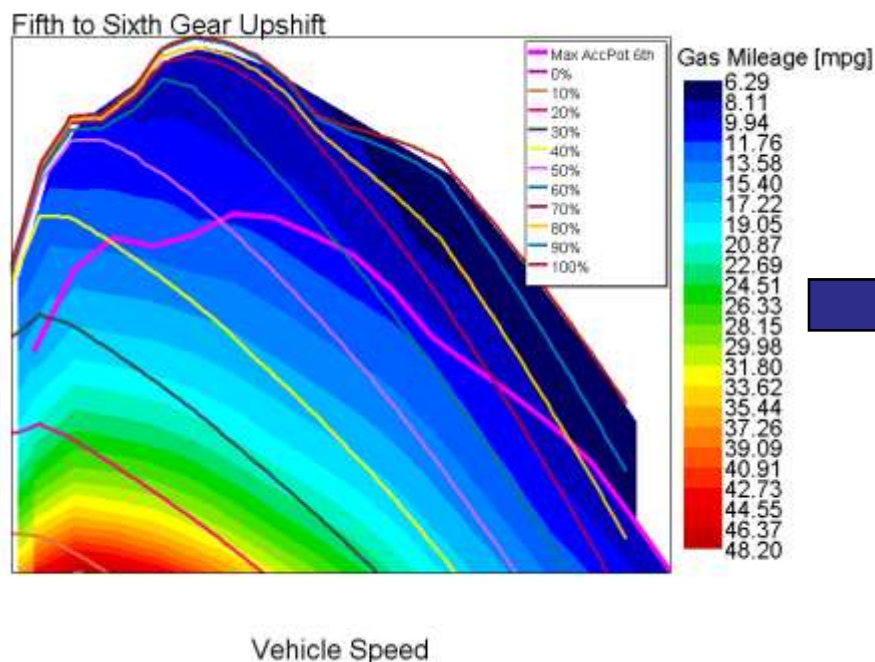


- **Optimization of Final Drive Ratio**
 - **For Acceleration Performance**

燃油经济性, 排放, 整车性能

- 静力学分析获取全工况的半稳态运行图
- 控制优化燃油经济性, 排放, 整车性能

- 智能宏命令帮助后处理结果的实现
- 换挡曲线直接输入到整车模型中

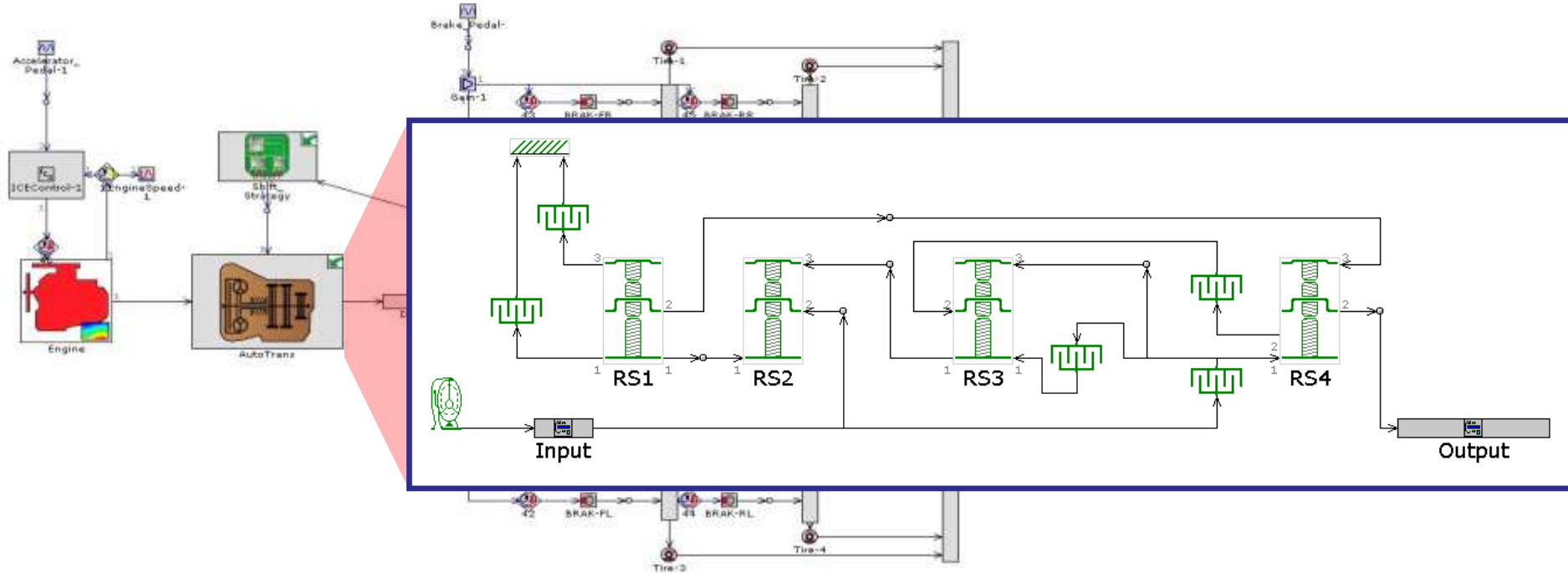


变速箱功率流布置

- 变速箱功率流布置（枝状图）模拟对确定变速箱的各个参数非常有用
 - 齿轮组、离合器、制动器、同步器的需求分析
 - 变速箱各个部位的旋转速度
 - 传递的扭矩和变速箱内部的反作用力
 - 离合器应用 策略和生成的档位
- 变速箱功率流模型可以有GT合成模板或者原始模板搭建
 - 通过有代表性的图标可以快速识别与查看缩略图
- 可以有物理连接或者限制连接搭建

自动变速箱功率流

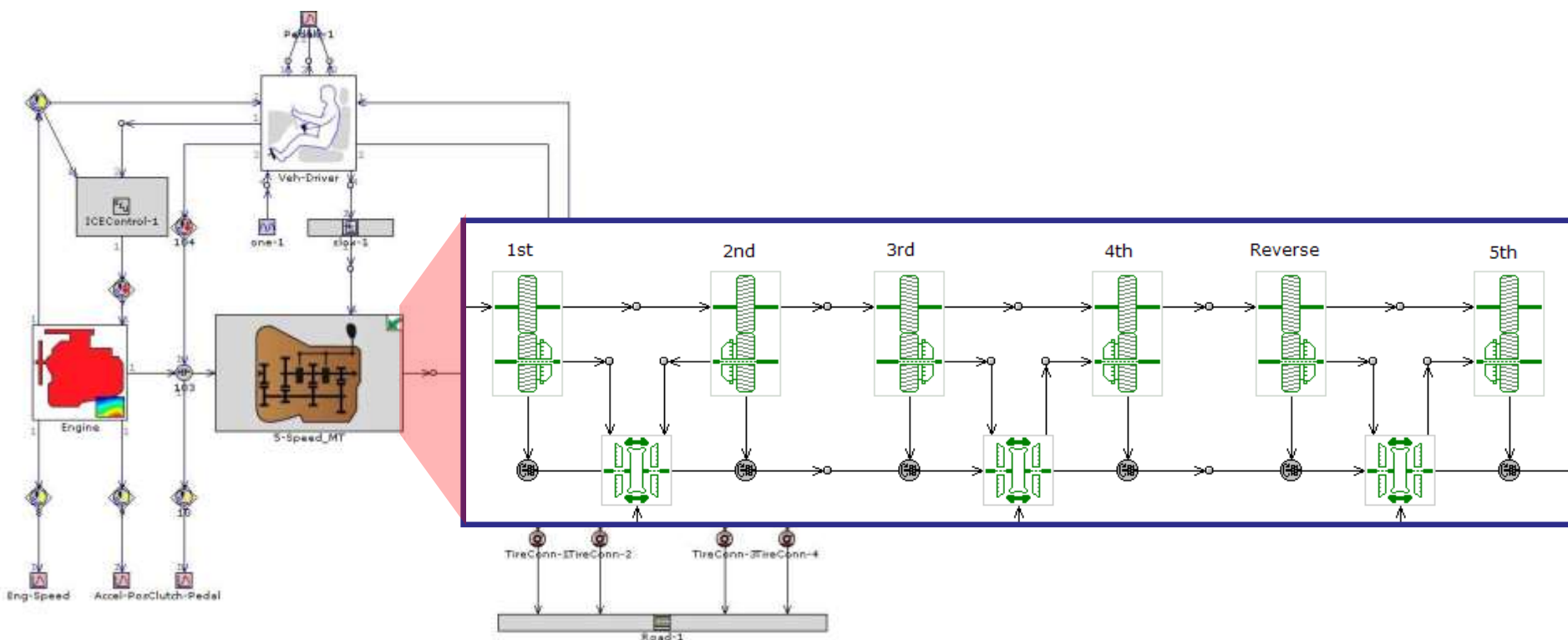
- 专业的变速箱模板元件：行星轮，湿式离合器，单向离合器，带式制动器
- 1维旋转元件：惯性件，固定壁面，速度/扭矩边



- 标准例子模型：8 速自动变速箱

手动变速箱功率流

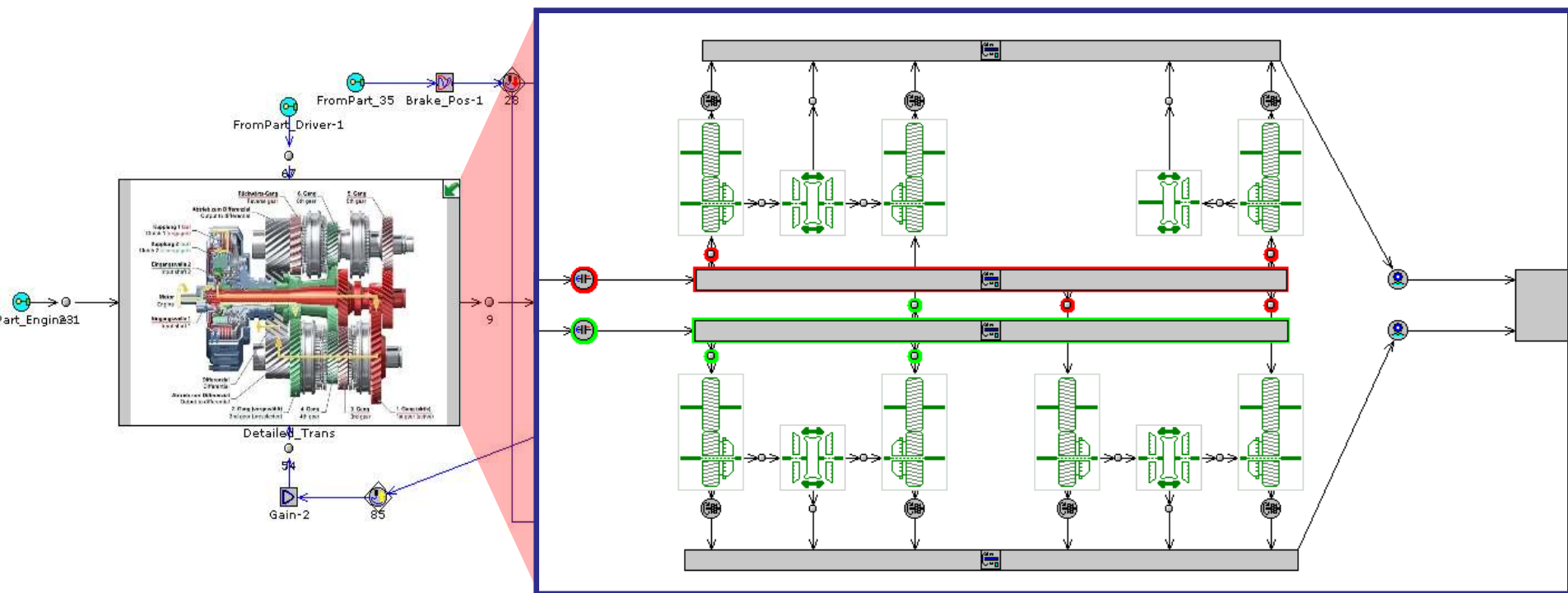
- 专用变速箱模板元件：变速箱齿轮副，简单同步器模型，限制
- 1维旋转元件：惯性件，固定壁面，速度/扭矩边界情况



•Standard Example Model: 5 Speed Manual Transmission

双离合变速箱功率流 (DCT)

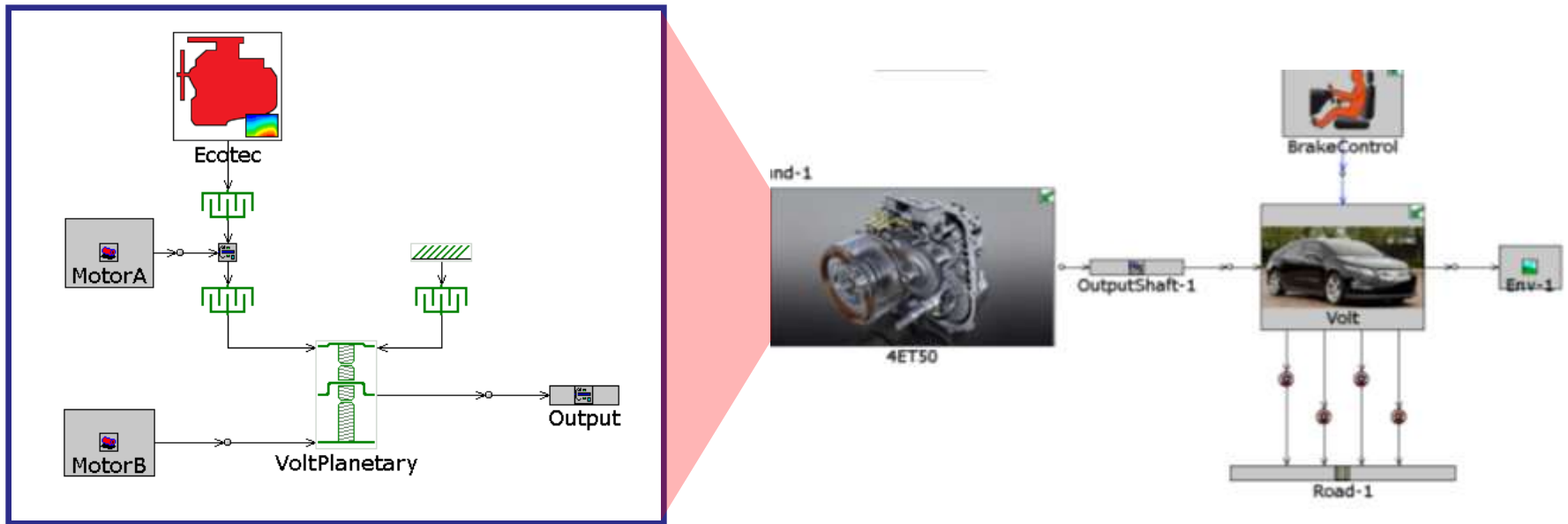
- 专用变速箱模板元件: 变速箱齿轮副简单同步器模型, 限制, 离合器,
- 1维旋转元件: 惯性件, 固定壁面, 速度/扭矩边界情况



• 标准例子模型: 6速DCT 变速箱

混合动力汽车(HEV) 功率流

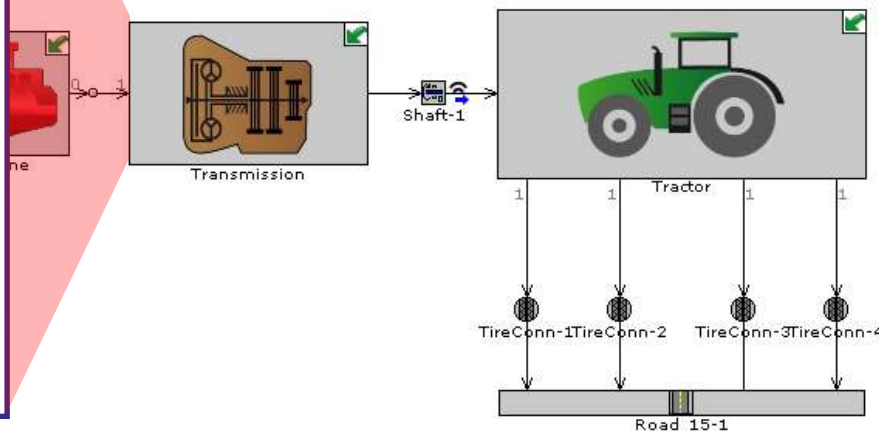
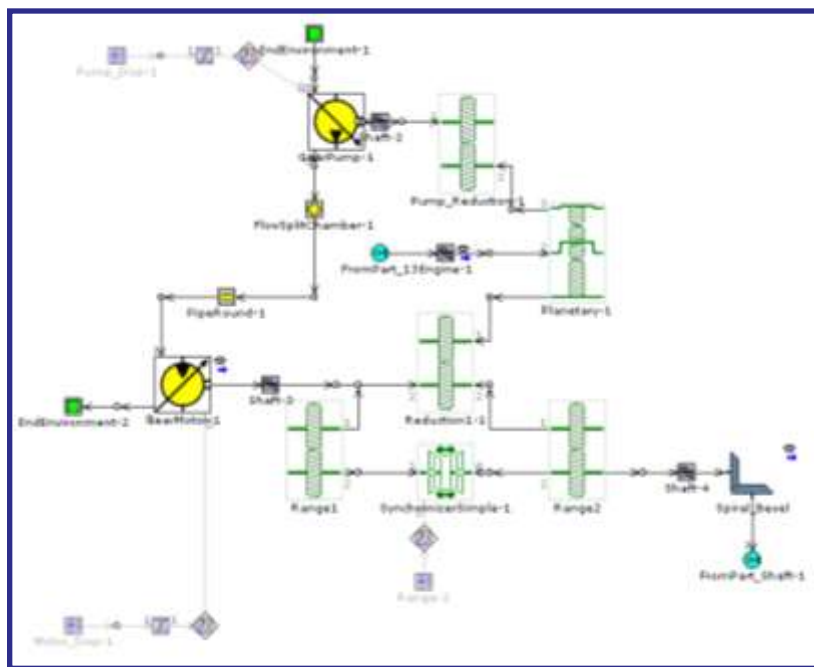
- 专用变速箱模板元件：行星轮，湿式离合器，单向离合器，带式制动器
- 1维旋转元件：惯性件，固定壁面，速度/扭矩边界情况
- 电机和离合器位置



• 标准例子模型: Chevy Volt e-CVT

流体静力学功率流

- 专用变速箱模板元件: 行星轮, 湿式离合器, 单向离合器, 同步器
- 液压元件: 可变排量泵-马达, 和液压控制



- 拖拉机模型带有无级变速箱

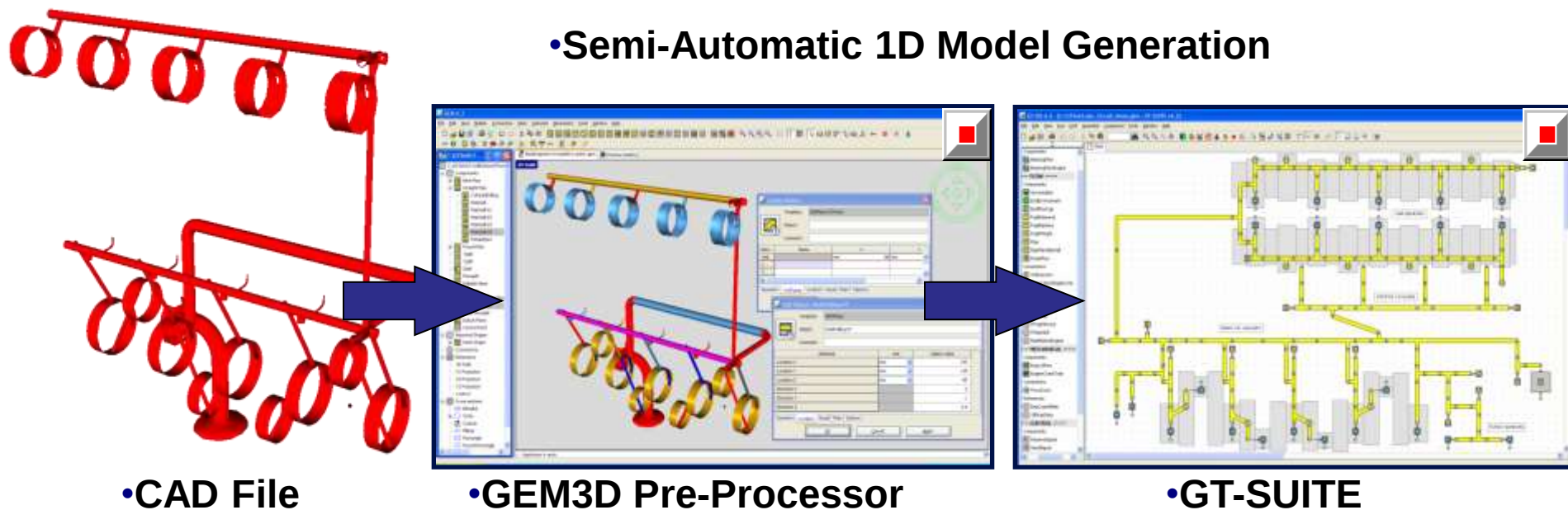
润滑，暖机和功率损耗预测

- 面对越来越苛刻的燃油经济性和排放法规，单独的发动机优化已经不能满足要求。
- 系统级优化变得越来越重要
- 变速箱功率损耗预测模拟需要各种高保真度的部件和现象模型
 - 齿轮接触损耗
 - 密封阻力和摩擦损失
 - 泵损失
 - 齿轮油搅动损失
 - 滚轮和推力轴承的损失
- 上面的损失都与温度有关系
 - 详细的离散的热模型变得非常关键

快速从CAD模型建立GT-SUITE模型

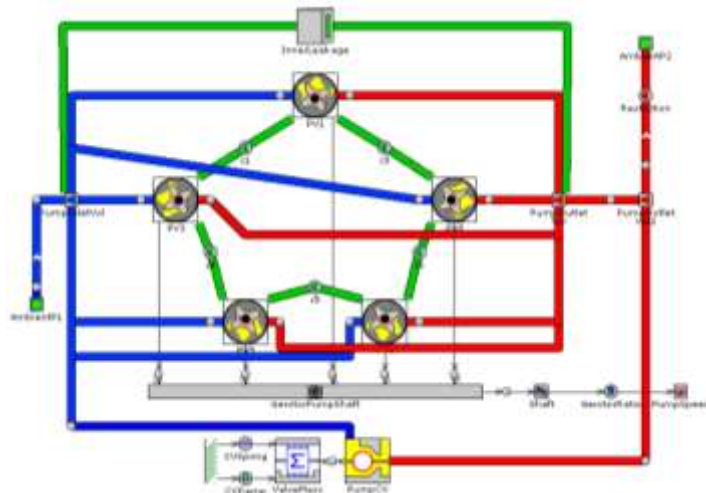
- GEM3D 前处理可以导入CADstl, .igs or .x_t格式文件创建液压模型
- 在导入GEM3D之前, GT-Spaceclaim 可以修复CAD模型或者从一种格式转换为另一种格式
- GT-Spaceclaim可以用来抽取流动体积

•Semi-Automatic 1D Model Generation

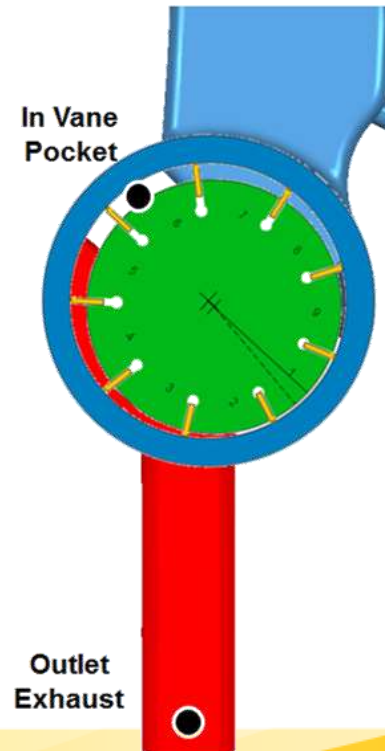
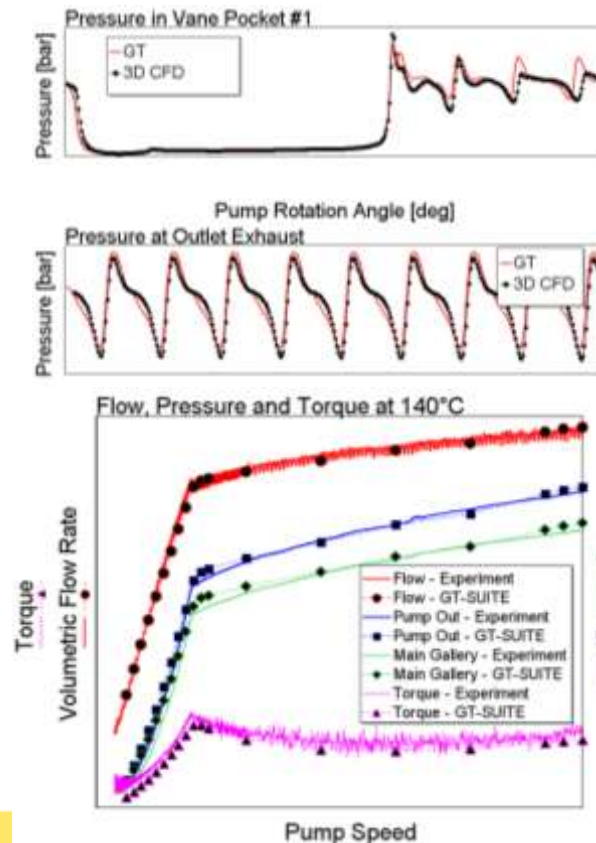


泵模拟

- 详细程度
 - 施加边界或者基于map的泵
 - 基于几何尺寸的预测泵（每一个体积都可以压缩, 气穴模型）
- GEM3D 自动从CAD模型创建泵模型
 - 内齿轮泵, 叶片泵等

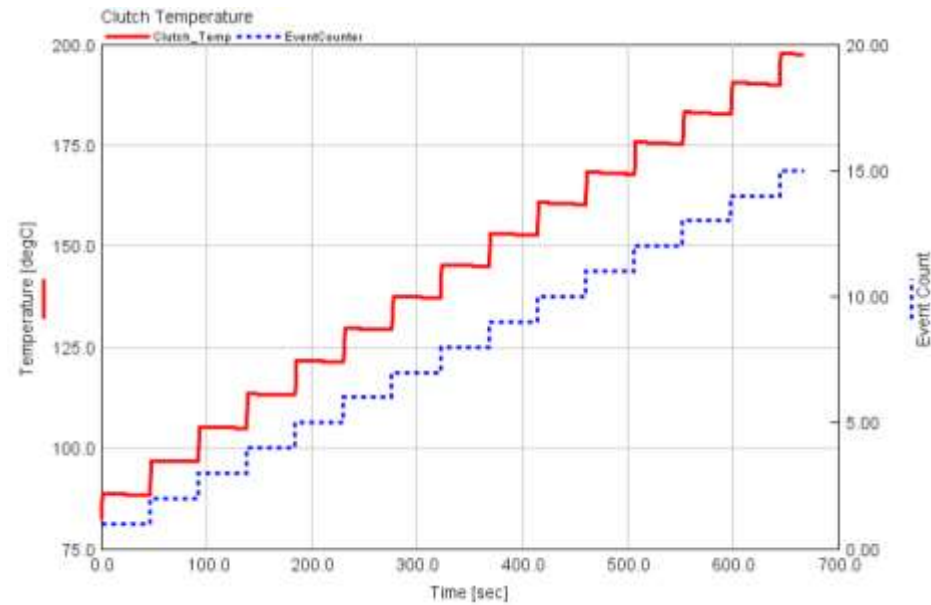
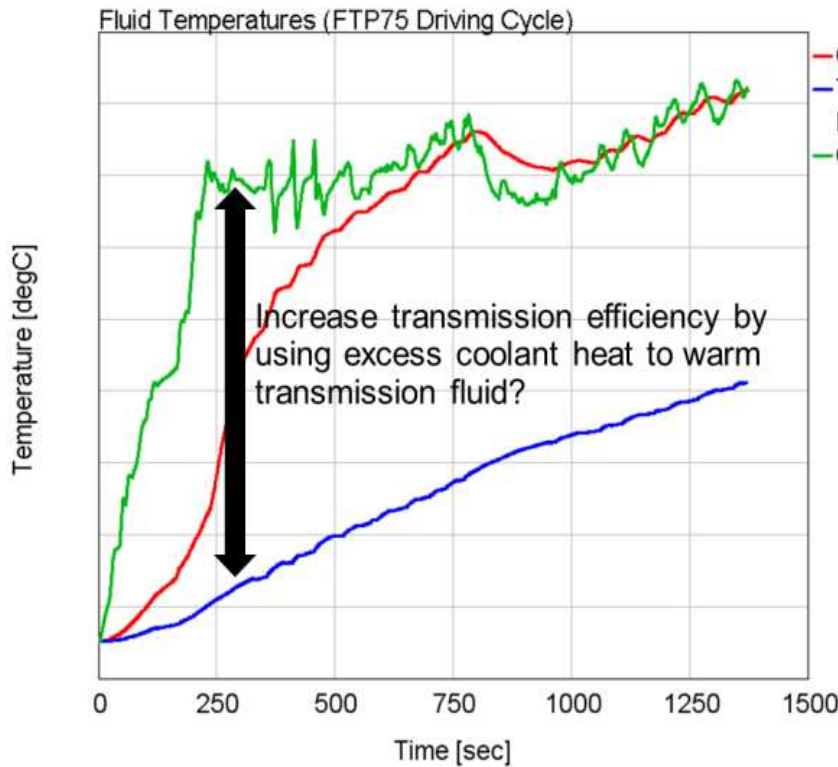


- Inlet Paths
- Outlet Paths
- Leakage Paths



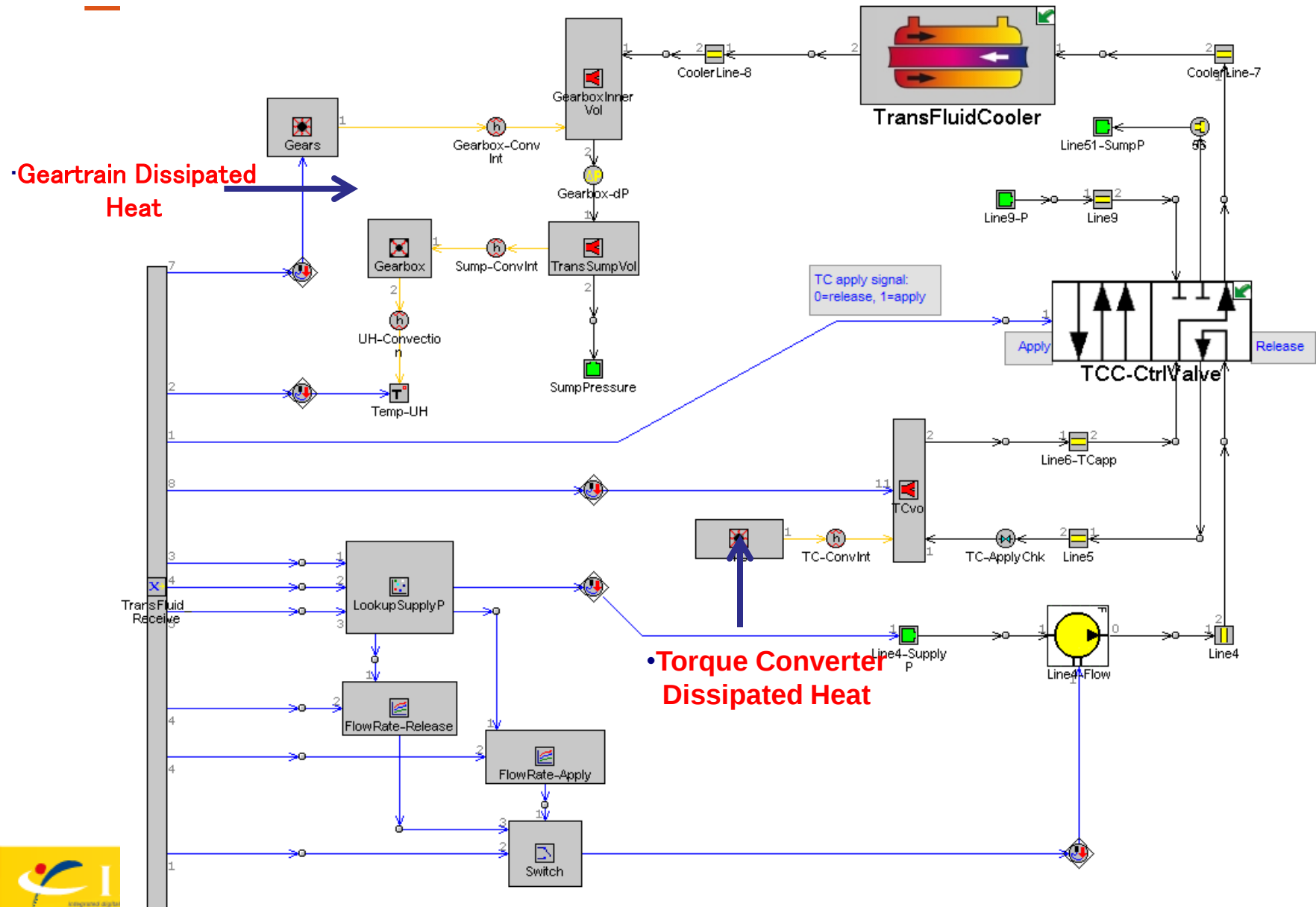
简单的热模拟

- 用简单的热模型快速回答系统级的问题：



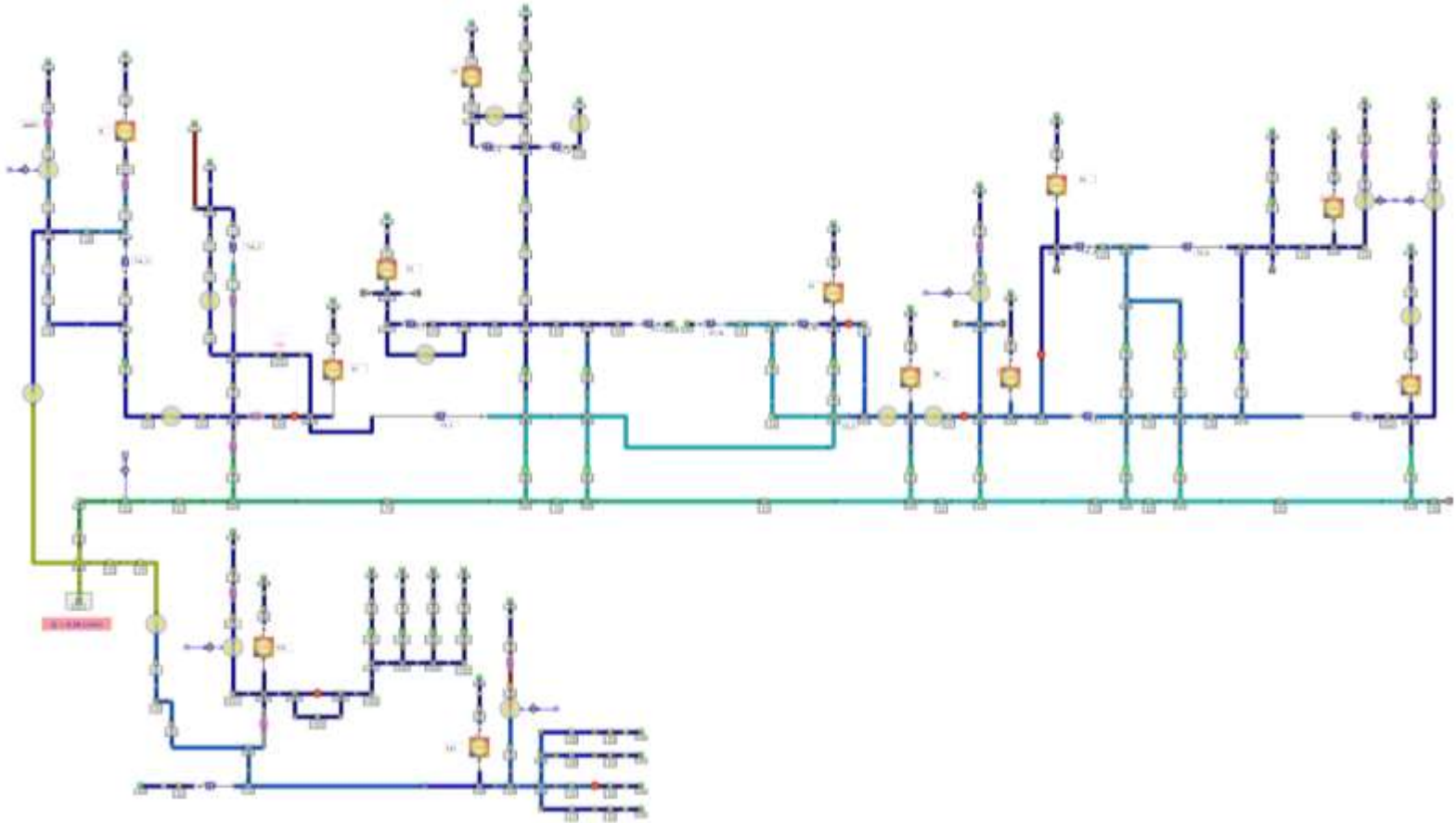
- Clutch Temperature Rise During Vehicle Launches on Grade

变速箱离散型的详细热模型



变速箱油路计算结果

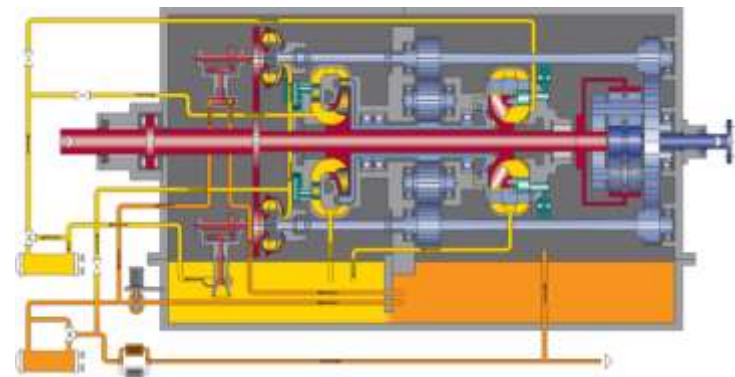
- 变速箱低压系统结果
 - 更高效可视化的解决润滑和热问题
 - 从耦合的GT-SUITE分析中获取效率优化



变速箱油回路系统模拟验证

■ Voith - 行星齿轮系统

- 大的齿轮箱系统（采用油或气体传递热）
- GT-SUITE 模型包含主要的流动消耗：例如多表面的轴承（带有浮动衬套的轴颈轴承）和复杂的油路系统
- 机械和液压的耦合模型
 - 轴承负载在机械系统和液压系统中传递
 - 行星轮速度施加到旋转的管路



•Vorecon System Schematic

换挡品质和驾驶性模拟

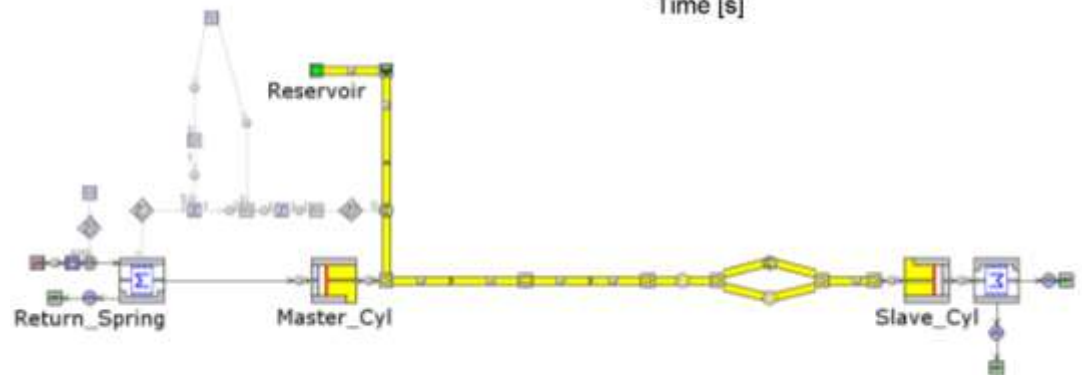
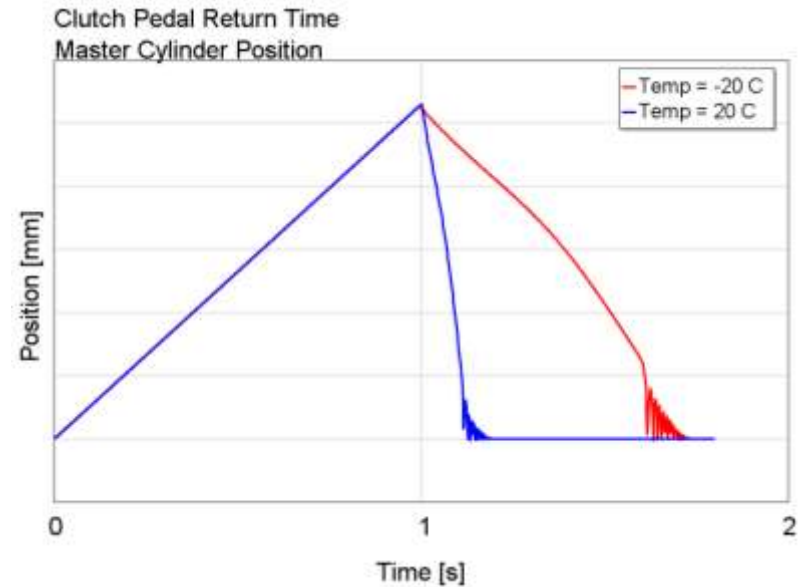
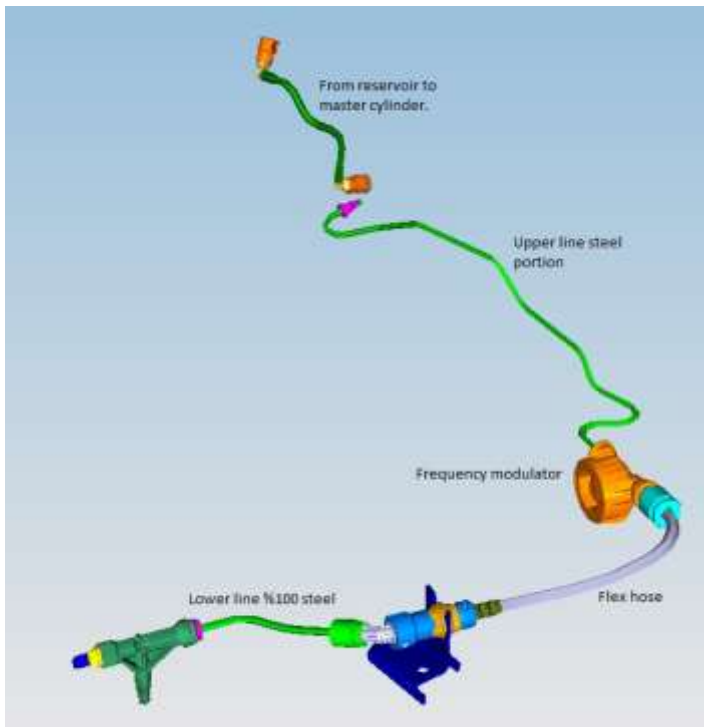
- 换挡品质和驾驶性对整车品牌非常重要
 - 对自动变速箱而言，湿式离合器的接合与分离特性十分重要
 - 对手动变速箱而言，换挡杆力大小的特性很重要
 - 对双离合器变速箱而言，双离合器换挡速度十分重要
 - 对无级变速箱而言，变速箱是否能否光顺的操作和改变速比十分重要
- 对所有情况，准确的捕捉瞬态行为都是关键的
- 准确的模拟液压也是一个关键的部分

液压回路

- 同GT其余流动模块采用相同的先进的流动求解器
 - 快速、准确求解Navier-Stokes方程式
 - 考虑传热的液压方程
 - 通风, 穴蚀 和组分输运
- 各种不同详细水平的模型 (泵, 阀, 电磁阀, etc.)
 - 施加流量等边界
 - 基于map
 - 基于几何尺寸的预测模型 (1维到3维)
- 可以与其他领域系统进行简单耦合
 - 机械, 热, 磁力/电

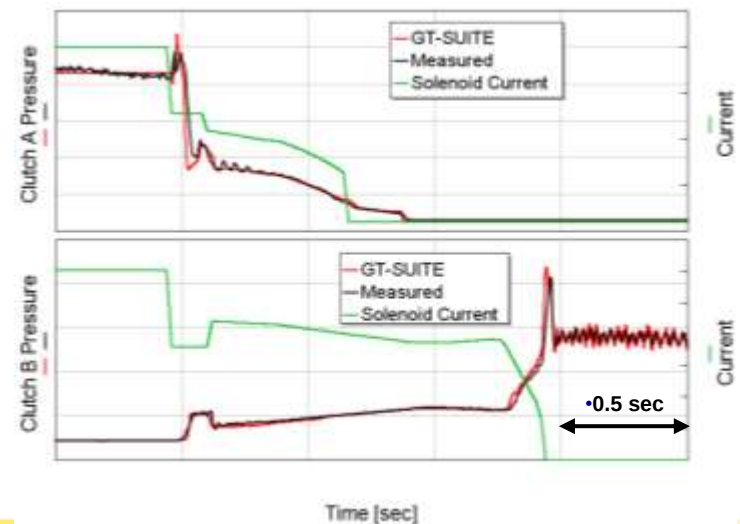
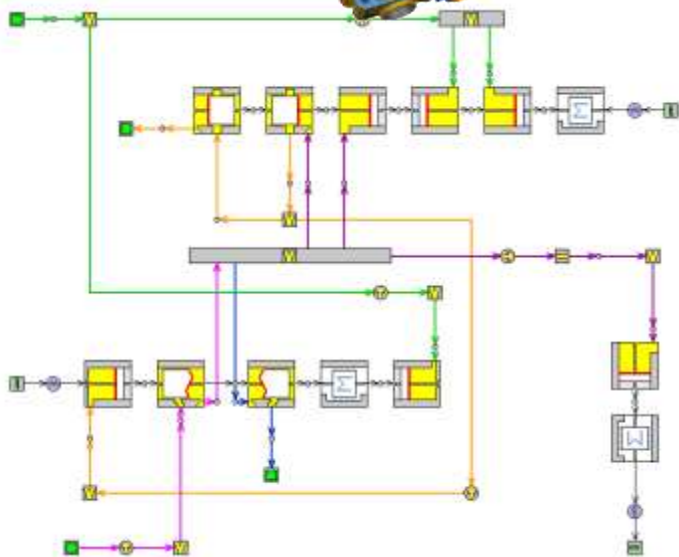
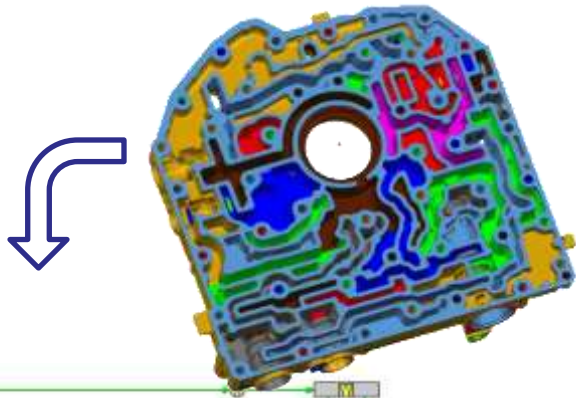
干式离合器执行液压装置

- 分析离合器的反应时间在不同的操作状态下
- 温度, 流体属性



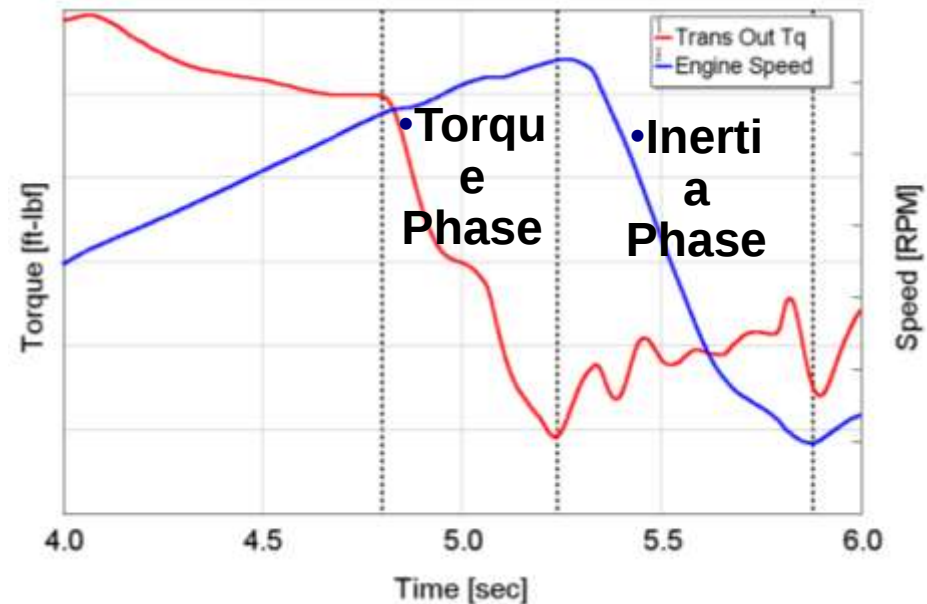
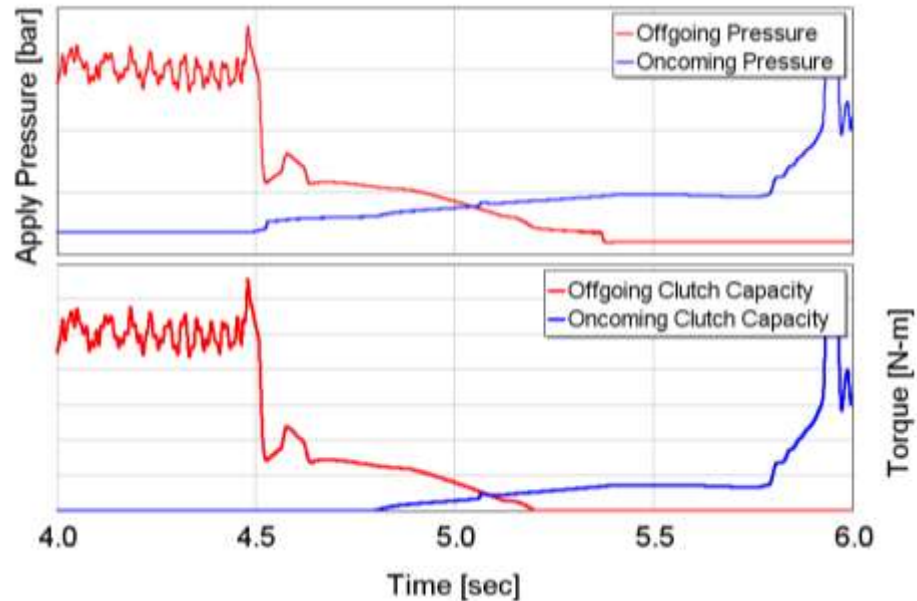
液压阀

- 带有详细电磁控制的高压系统
 - 在GT-SPACECLAIM and GEM3D的帮助下快速建立模型



换挡品质举例：自动变速箱

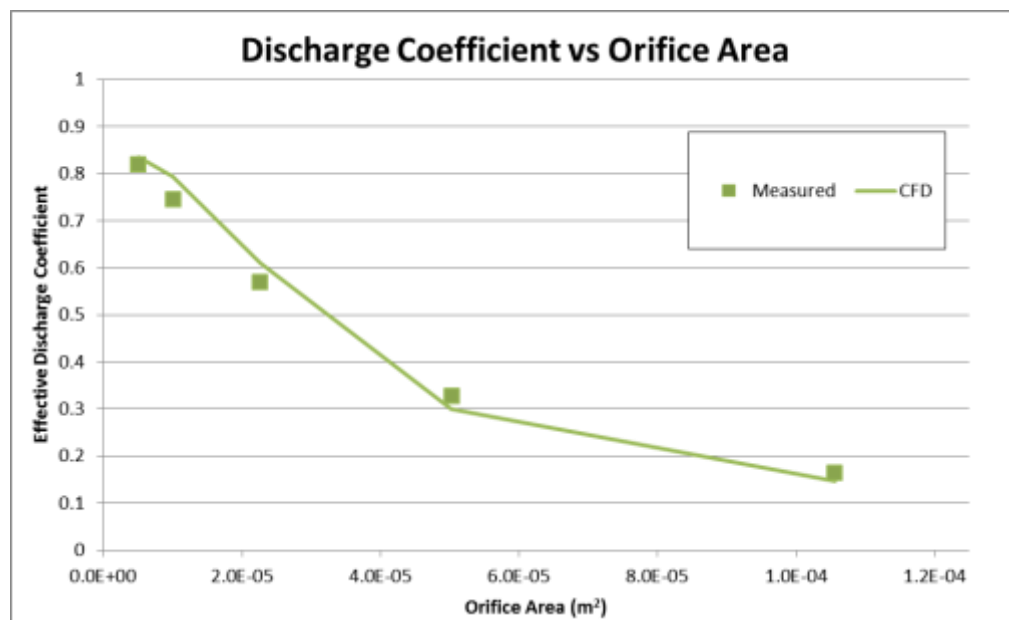
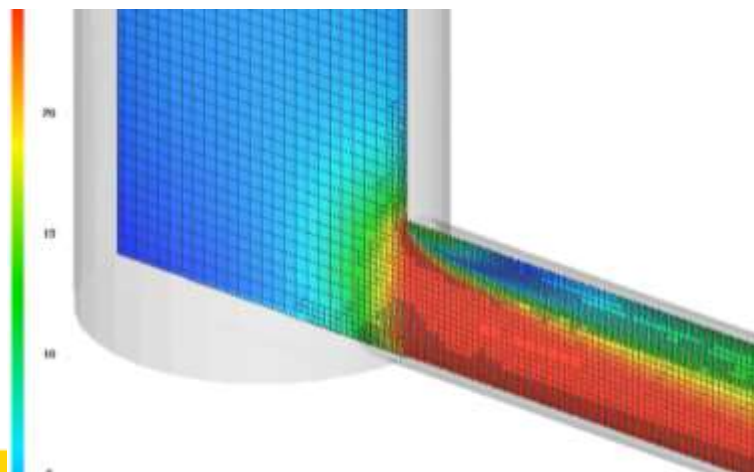
- 精确捕捉离合器压力建立、扭矩相应，非常重要的扭矩项和惯性项发生的时间点
- 动力总成控制和详细发动机耦合模型是换挡品质模拟的关键



• Synchronous On-Power Upshift Results

阀模拟(水平3- CONVERGE CFD 分析伺服阀)

- 对伺服阀模拟的半自动的定制化工具
 - 对这个应用自动产生网格
 - 快速运行和自动化流程
 - 参数化和优化；不需要是CFD方面的专家



变速箱高频动力学

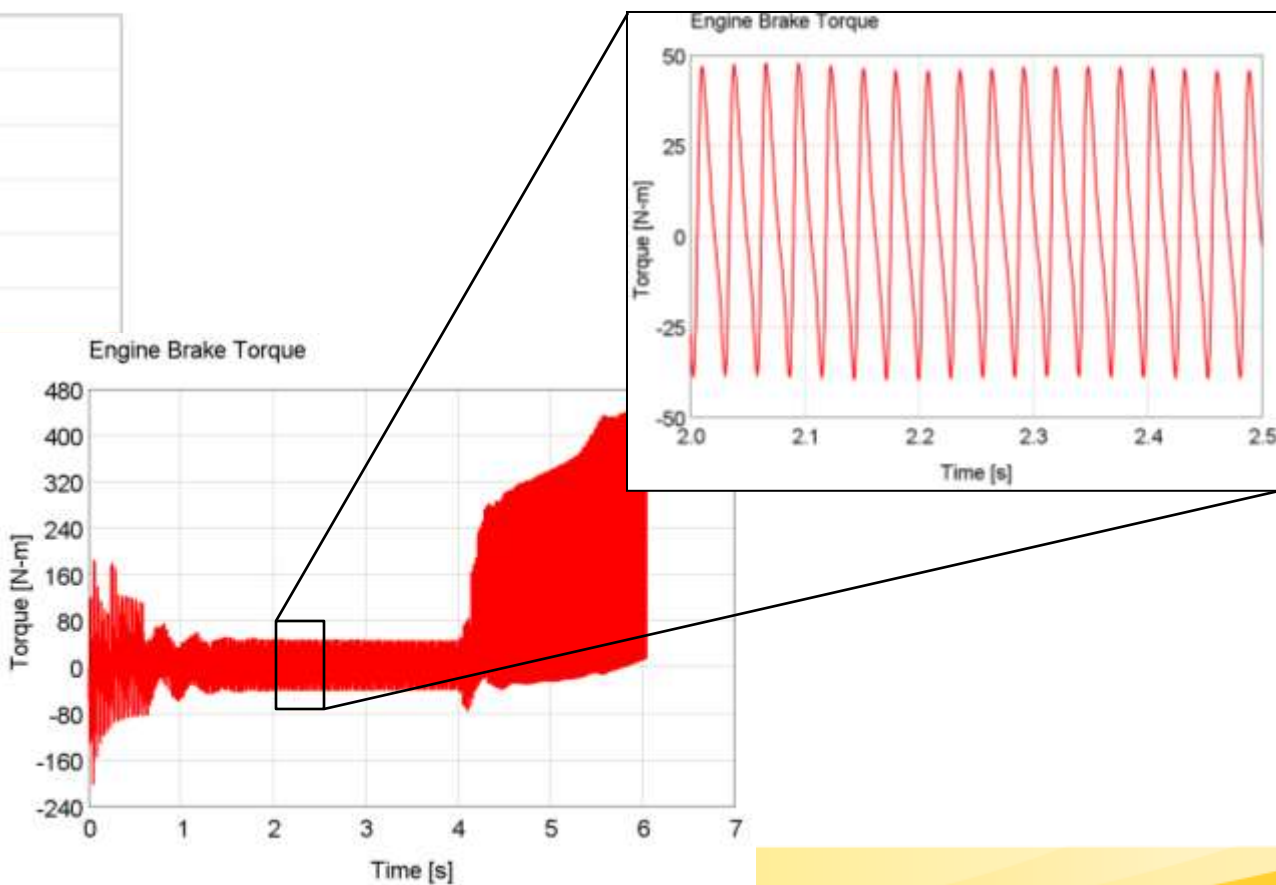
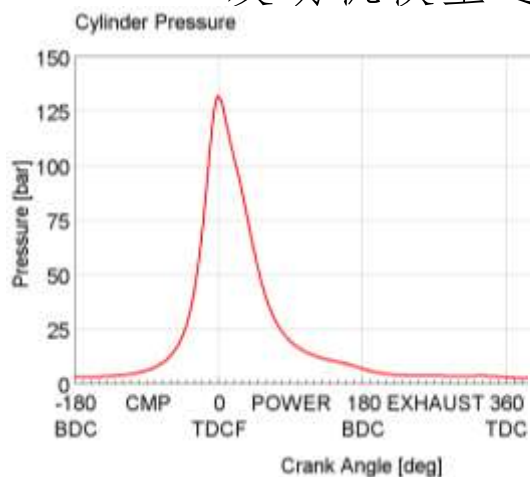
- 变速箱中的高频也会影响驾驶感受动力学
 - 在特定的换档过程中，不能隔绝它们的影响
- 模型通常包含更高的自由度, 更高预测性的接触副和齿轮副模拟
- 一系列几何尺寸的输入已经扩展到低频模拟
- 可以与详细的GT-POWER模型和FRM模型耦合
- 时域和频域分析结果都可以得到

GT-POWER 发动机模型和FRM 发动机模型

■ 完整的物理发动机模型

■ 由于缸内燃烧变化引起的预测的扭矩输出s

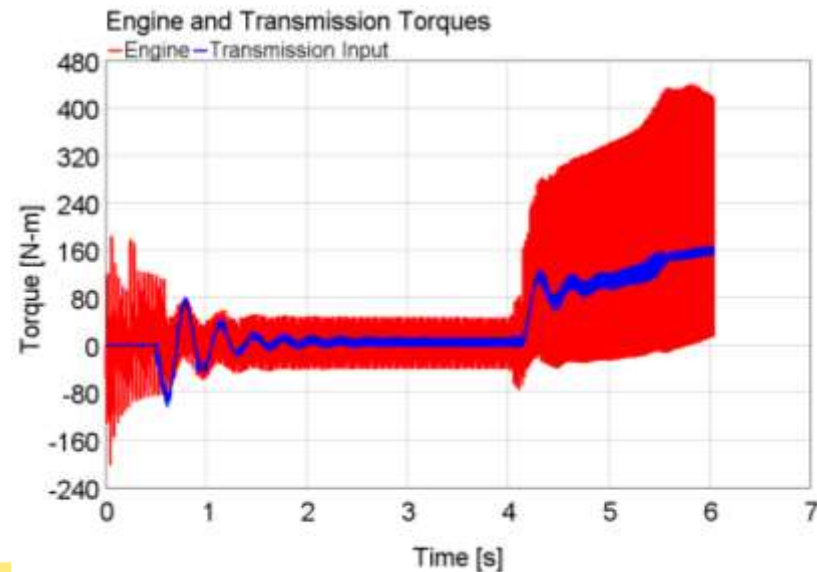
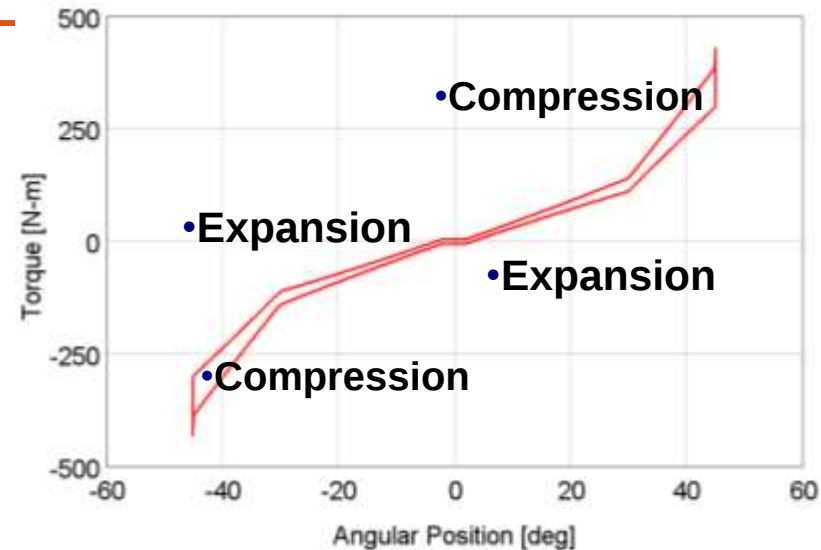
■ 发动机模型通常被压缩可以进行瞬态的变速箱分析



• **Resulting Transient Torque from Engine**

双质量飞轮模拟

- 基于不同刚度的弹簧，创建物理的双质量飞轮模型
- 主弹簧被离散成多个DoF (MBD Formulation)
- 考虑飞轮切向运动和离心运动引起的摩擦力
- 频域分析可以发现有问题的工作点
- 改变弹簧刚度和摩擦作用分析驾驶性和性能的trade-off关系



干式离合器模拟

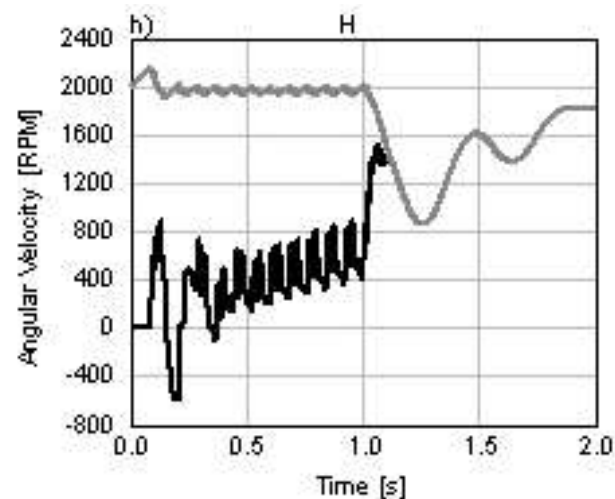
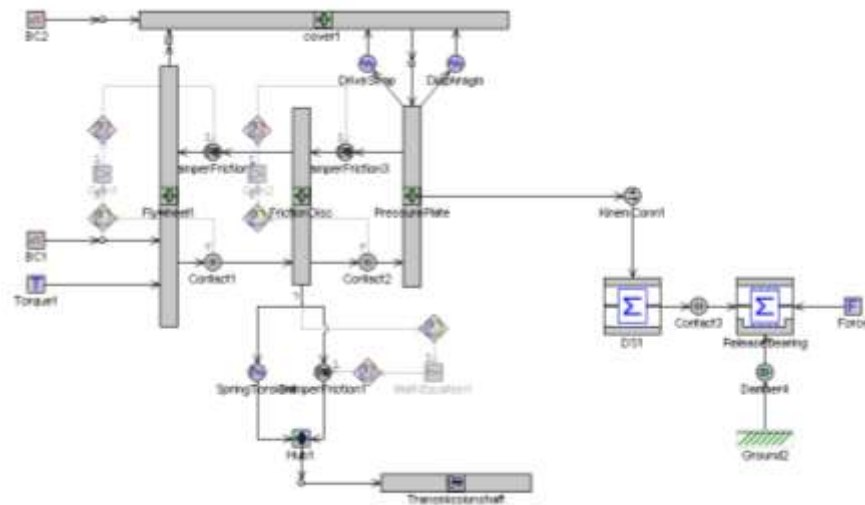
■ 用模型评估 NVH 问题例如离合器颤抖

■ 离合器盘

- 基于滑移量的 μ 曲线
- 摩擦材料软垫弹簧
- 主弹簧和阻尼弹簧（如果没有双质飞轮）
- 摩擦片

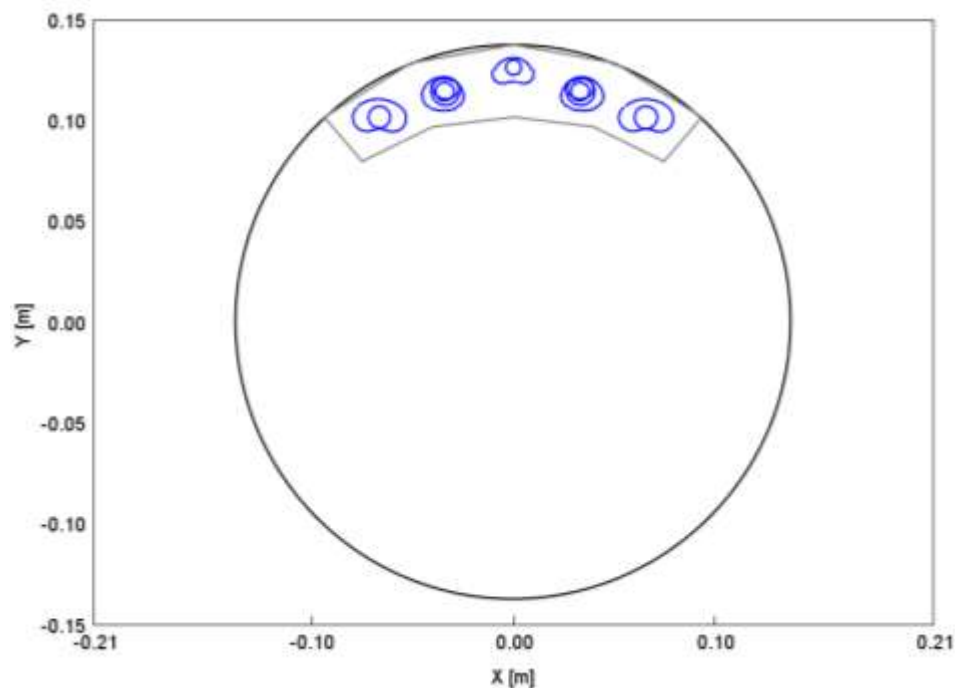
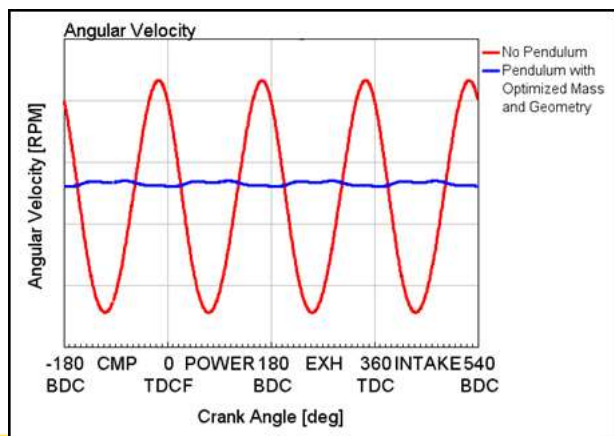
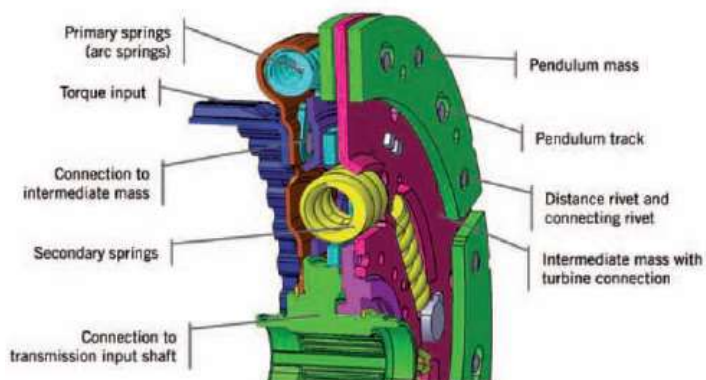
■ 盖子和压盘

- 压盘
- 离合器盖子
- 驱动皮带
- 膜片弹簧，支点，和释放轴承



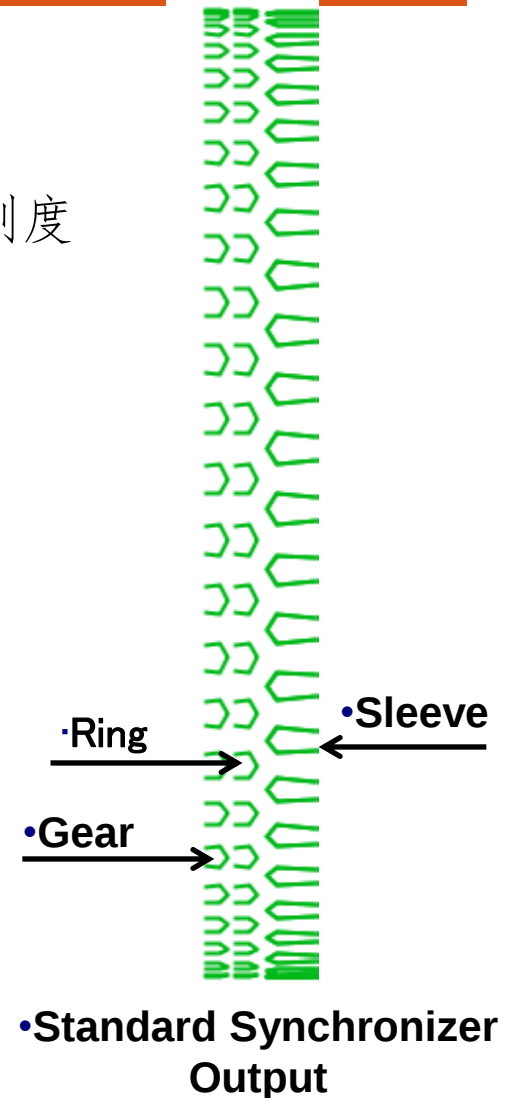
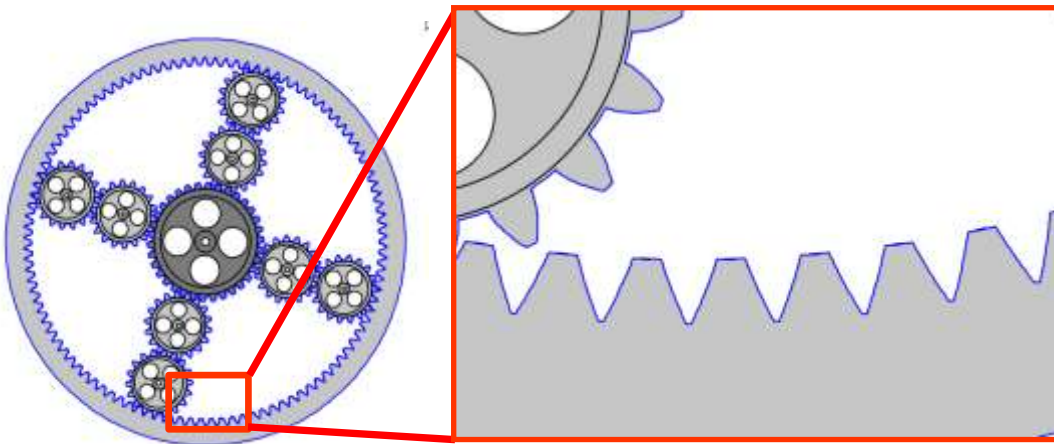
离心式弹簧减震器

- 复杂，非线性带有平面运动的扭转阻尼
 - 用户自定义滚轮的接触形状和扭转质量
 - 在动力总成系统中可以与任何组件耦合



同步器和齿轮模拟

- 基于需要进行两个水平的模拟
 - 物理连接模拟组件力和间隙进行NVH分析：
 - 爪型离合器：套筒环,和套筒齿轮考虑间隙和刚度
 - 锥面摩擦：齿轮摩擦锥面
 - 渐开的齿轮曲线
 - 简单的运动学模型进行概念开发
 - 施加速比，效率，同步时间



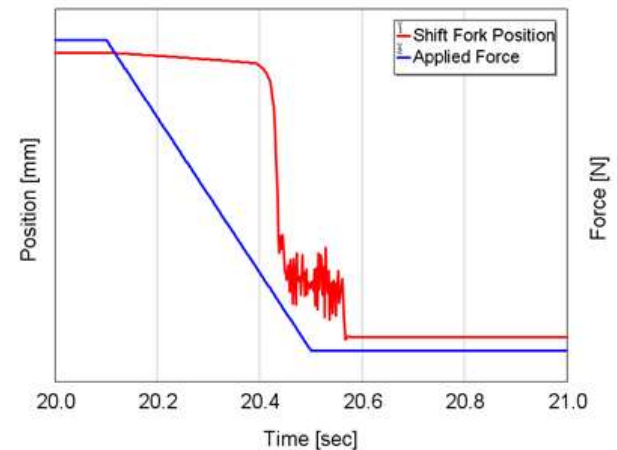
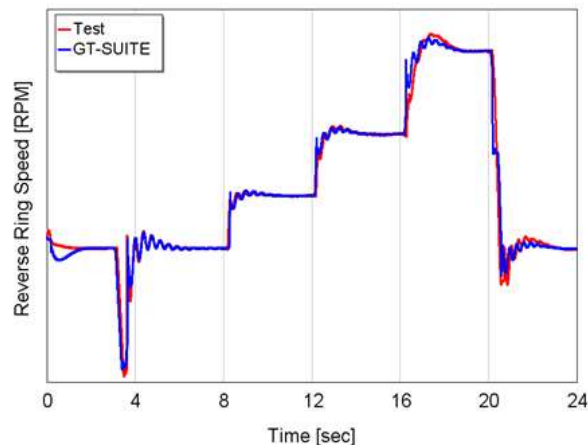
平顺性：与3D 整车工具耦合

- 动态的负载施加到变速箱组件上进行耐久分析
- 完全与3D整车和详细的GT-POWER模型耦合分析



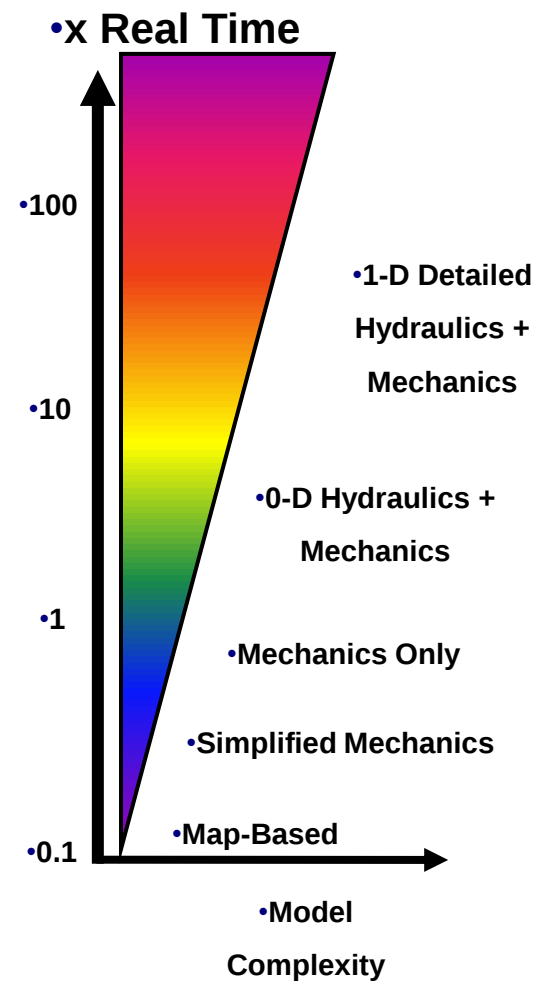
高频动力学：算例

- GT-SUITE 20速农用机械变速箱benchmarking 模型
- GT-SUITE FRM + Transmission + Simulink engine controls模型
- 评估低频和高频的发动机控制和扭转刚度对转速和扭矩的影响
- 详细的同步器模型 **synchronizer model allows for dog clutch indexing, tooth skipping, and lash rattle**



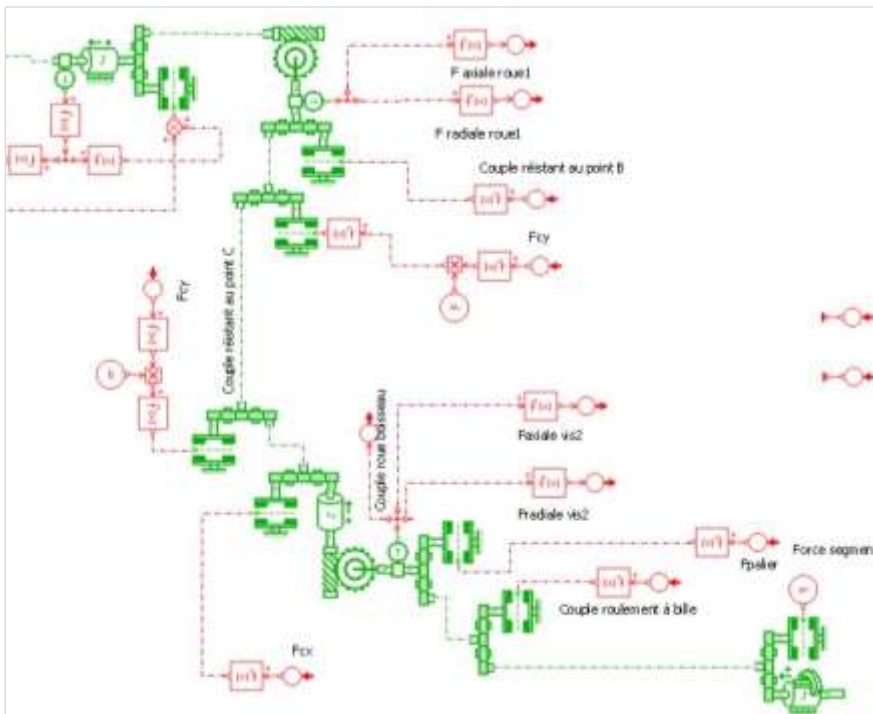
GT-SUITE 模型运行时间

- GT-SUITE 提供各种详细水平的模型
- 包含必要的物理特性去解决特定的问题
 - 完全可预测，详细的1维液压和机械模型去解决换挡品质和NVH ($\sim 60X$ RT)
 - 简化的液压模型去模拟离合器体积填充 ($\sim 10X$ RT)
 - 机械模型仅仅去考虑压力边界引起的离合器 运动 ($\sim 1X$ RT)
 - 基于约束的离合器 ($\sim 0.5X$ RT)
 - 基于map的变速箱 ($\sim 0.01X$ RT)

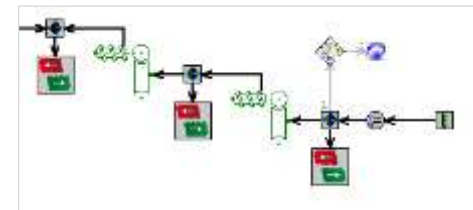


同其他工具的比较

- 齿轮传动机构模拟a worm geartrain
 - 没有虚拟部件
 - 多连接是允许的（消除端口的分离）
 - GT-SUITE有齿轮接触和蜗杆推力输出,消除了需要设置外部复杂力和引起的错误



•AMESim

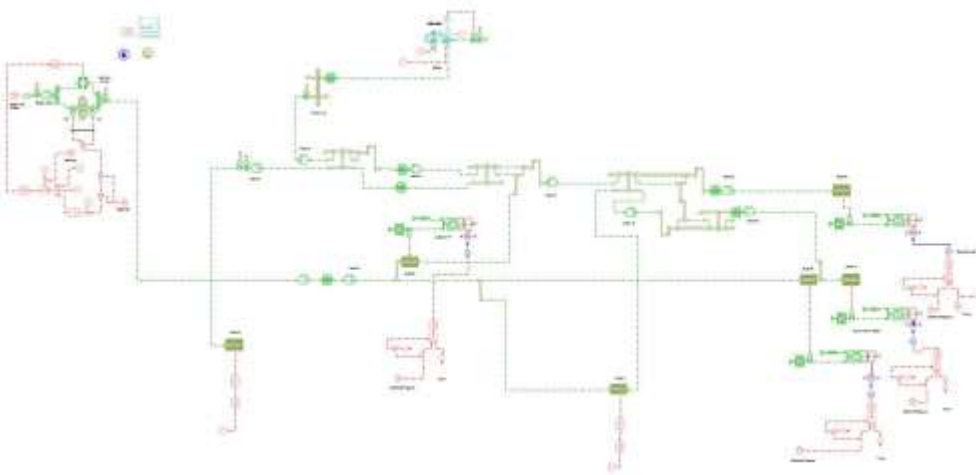


•GT-SUITE

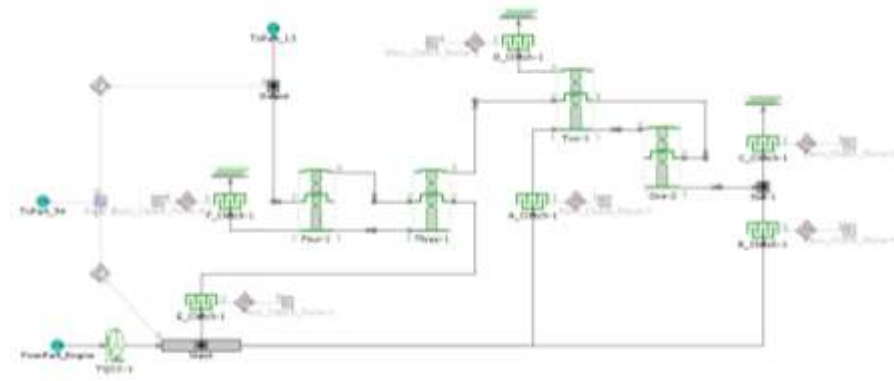
与其他工具比较

■ 行星齿轮功率流模拟

- 没有虚拟部件(forced by causality)
- 多连接是允许的 (消除端口的分离)
- 行星齿轮组包含物理惯性能够被刚性连接 - 不会引入降低CPU效率的扭转组件
- 没有必要去人为的分割模型去提高循环功率流模拟效率
- 系统可以很容易的初始化一个非0的齿轮速度



•AMESim

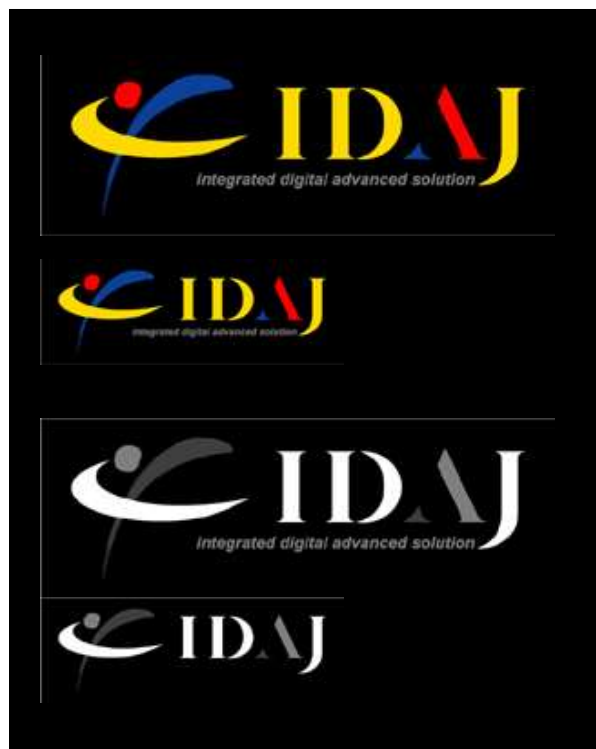


•GT-SUITE

GT-SUITE 优势

- 柔性的接口和广泛的可用模型运行在开发的各个阶段进行模型标定和开发
- 实用的接口可以进行换挡策略产生和优化
- 同详细的GT-POWER模型耦合，提供高保真度的扭矩控制和预测扭矩输出
- 同液压、润滑以及热管理系统耦合预测换挡控制和变速箱暖机以及摩擦等损耗
- 对客户的需求提供快速响应和帮助

IDAJ标志一览



谢谢大家！