

Tutorial 1 - Getting Started

指南 1-入门

目标

用户指南将引领您走入 SimulationX 的天地。简单的范例模型可以使您通晓 SimulationX 中必备的建模技巧。我们以一个双质量振荡器模型为基础来说明一个模型的结构。你也可以轻松地您的计算机上重复这一步骤。
很多步骤都可以用不同的方法完成，本指南通常只演示其中的一种方法。

形用户界面(GUI)

SimulationX 的建模窗口可以细分为几个不同的子窗口（图 1）。

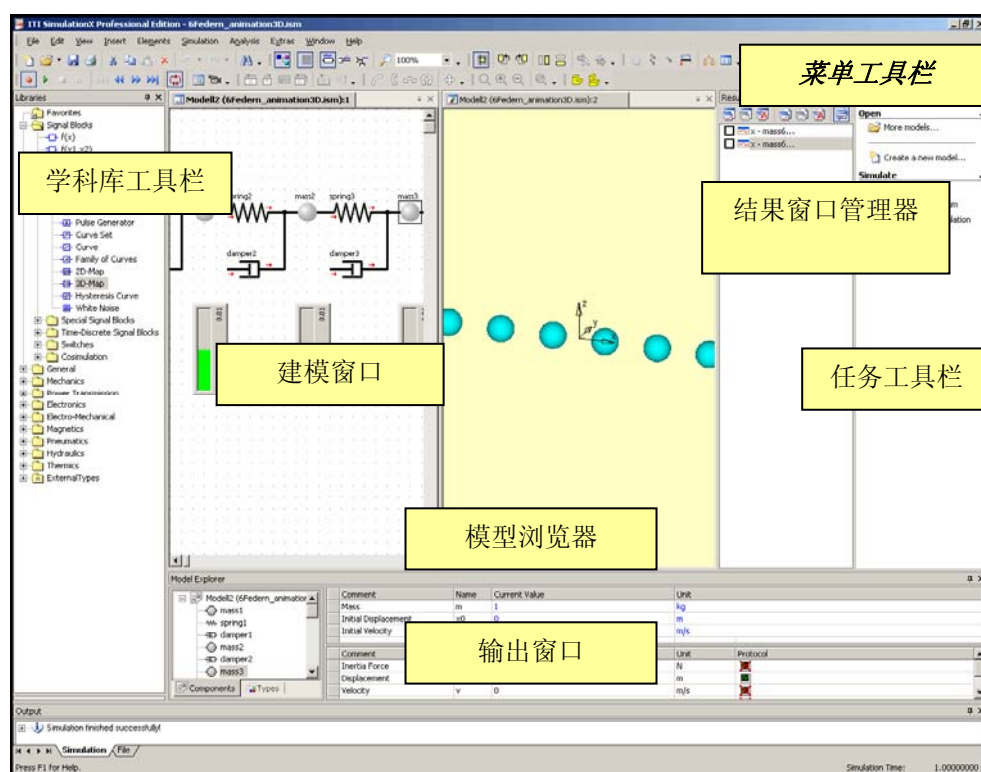


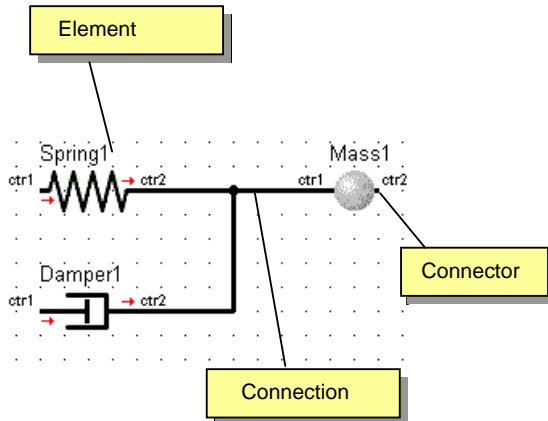
图 1：图形用户界面

学科库工具栏提供了已安装元件类型访问入口。为了更清楚和使用方便，元件类型被归类到相应库（组），在树形结构图中，元件类型与库根据其级别依次展示。在**库窗口**中的文件夹中元件的类型以形象的符号来表示。

在“Favorites”库中您可以创建您自己的组群，链接的创建是靠对元件类型和库的拖放。在“Favorites”库中，您可以复制，移动和删除子库和链接。

- 形用户界面总览
- 有的范例模型演示
- 建你自己的模型
- 行一个仿真
- 结果观测

在建模窗口你可以对结构的进行图式建模及对仿真模型的修改。元件与接线是仿真模型的部件，元件带有接口通过接线与其他元件连接。接线可以多路，即一个接线可以接上两个以上的元件。



连接端口的种类很多，如力学（线性与旋转式）、液压、电子连接器，信号输出与输入也包括在内。同类型连接端口才能被连接在一起。根据相关元件，每一个连接端口都有一个独一无二的标名，这些标名“View/Pin Labels”可见。

图 2：部件

model explorer 提供了仿真模型组件属性的访问入口。模型的元件与级别在树形图中再现。各元件的参数与运行结果在表格中可见并可修正。

The screenshot shows the 'Model Explorer' window. On the left is a tree view of the model structure. On the right are two tables. The top table lists parameters for 'mass1'. The bottom table lists simulation results for various quantities.

Comment	Name	Current Value	Unit	Quantity	Current Value in SI-Unit
Initial Velocity	v0	0	m/s	Velocity	0
Mass	m	1	kg		1
Initial Displacement	x0	5	mm		0.005

Comment	Name	Current Value	Unit	Quantity	Protocol
Inertia Force	Fa	0	N	Force	<input checked="" type="checkbox"/>
Displacement	x	0	m	Displacement	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocity	v	0	m/s		
Acceleration	a	0	m/s ²		
Power Flow	Pm	0	kW	Power	<input checked="" type="checkbox"/>

图 3：模型浏览器

信息、警告与错误记录在输出窗口。这些信息按类分列（如：仿真，文档）中，输出窗口的内容可被另存、输出为文档并打印。

The screenshot shows the 'Output' window with the following text:

```

Simulation finished successfully!
Time: 0.0145743162999276
Steps: 124
Valid: 124
Error: 0
NoConv: 0
Calculations:

```

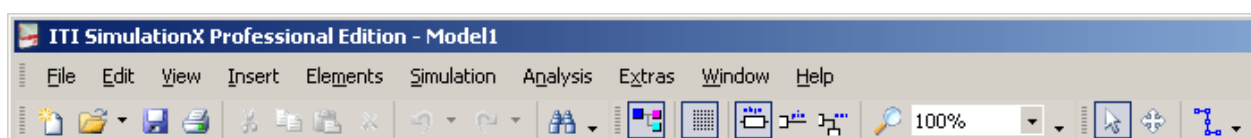
图 4：输出窗口


例模型演示

在 SimulationX 安装后产生了一些样本模型，打开这些样本模型，修改参数后可以执行仿真。这些样本模型在目录...\\SimulationX\\样本\\...中。不同的库有不同的子目录，如


- ...\\SimulationX\\Samples\\Mechanics 力学\\... for mechanics (general)
 - ...\\SimulationX\\Samples\\Pneumatics 气体力学\\... for pneumatics
 - ...\\SimulationX\\Samples\\Hydraulics 液压学\\... for hydraulics
- 等。

a.) 打开一个模型文件



要打开模型文件单击  并选择“文件/打开……”。打开后，模型结构在建模窗口和模型浏览器中显示，结果窗口显示计算出的结果曲线图。

b.) 改变参数

如果模型已经仿真结束，请首先单击  或选择“Simulation/重启”以便重启仿真，然后双击任意元件符号以打开参数窗口。**SimulationX** 中的参数包括常数、数学公式或逻辑条件。欲知元件的详细信息（参数、结果变量、设定、计算），可点击“帮助”，在线帮助系统将出现并提供需求信息。如欲输入参数数字，首先挑选单位然后输入数值。单位改变后，参数值将被自动修正。如果不想参数值被自动修正，在选择单位的过程中按住 **Shift** 键即可。

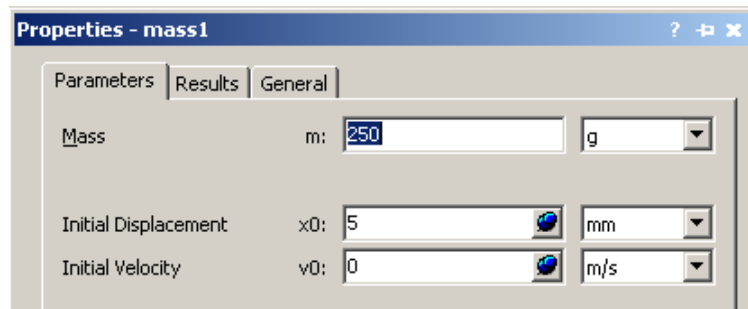




图 5：参数对话框

保存仿真结果以便稍后显示，你可以激活输出纪录属性( → )选择想要的结果量。

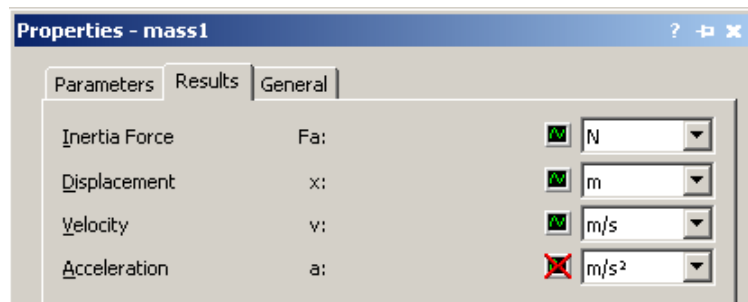


图 6：结果变量对话框

您可在“General”页的属性窗口上更改元件名称，加上注语，调整元件标签在 **model view** 上的位置

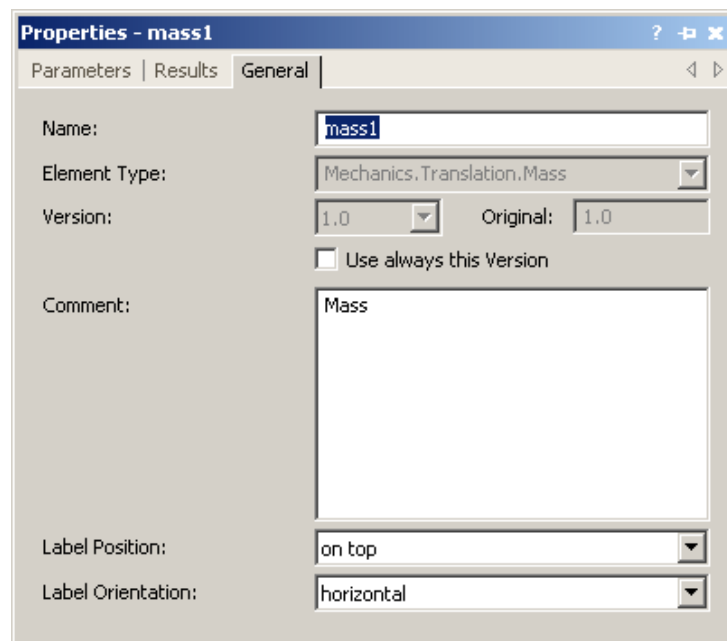




图 7：属性窗口

点击关闭键()或点击对话框外空白处关闭参数窗口。

c.) 行一个仿真

点击或选择“**Simulation/开始**”开始仿真。仿真将运行直至设定的时间结束。当前仿真运行时间显示在右下角 (**Current Simulation Time [s]:** 1.000).

改变停止时间的预设值, 通过选择“**Simulation/Options...**”打开仿真控制面板, 这时你就可以编辑仿真参数了 (例如: “**tStop**”)。

d.) 开一个结果窗口



如果您在仿真运行前已经激活输出属性, 你可以对这些**结果画时间曲线**。鼠标点击元件打开结果窗口, 从 pop-up 菜单中选择欲求的 **result quantity**。

如果没有 **result quantity** 适合模型目标, 协议属性不被激活。

建你自己的模型

现在我们来对开头提到过的“**Two-Mass Oscillator**”模型进行建模。个别步骤已经介绍了, 其余的将在后面的章节介绍。

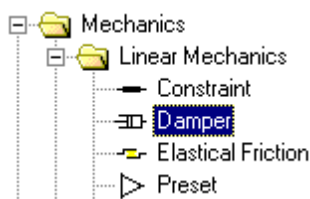
在创建新模型时, 先要创建一个新的文件夹(按键或菜单“**File/New**”), 然后按照如下步骤进行:

a.) 选择元件

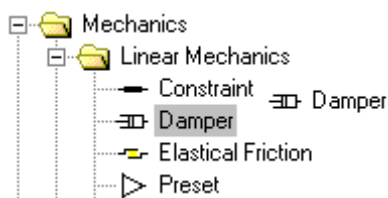
现在开始创建第一个简单的模型——“双质量振荡器”。

把新元件用拖放的方法放入建模窗口, 过程如下:

1. 找到相应学科库工具栏树形图中相应元件类型位置。



2. 用鼠标左键点住树状图形不放。



3. 按住鼠标的左键移动鼠标到模型窗口, 将新元件插入至模型窗口。



4. 放开鼠标左键, 新元件创建在模型中想要的位置。



如要简化新元件的定位步骤, 可以激活选项“**Snap to grid**”

如要放置几个相同类型的元件于模型图示中, 请重复如上步骤。

在“线性力学库”中选择两个质量块 和一个弹簧阻尼元件 并将他们放置于模型图中。



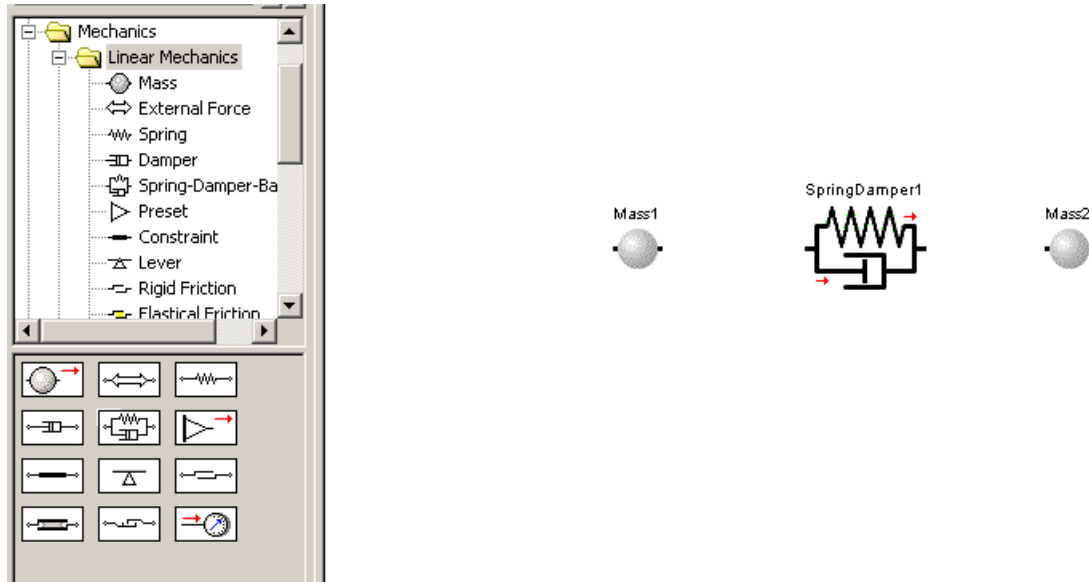


图 8: 数据库下拉菜单和模型

模型元件也可以被操作，即，他们可被移动、旋转、复制。他们用鼠标点击来选择，用鼠标左键点击住不放移动，可以被拖动至别处。点击 可向左向右旋转元件，点击 可水平方向或垂直方向地旋转元件。运用这些工具您可以布置元件在模型中的位置和方位以便连接。

b.) 连接元件

下一步是连接元件以构成想要的模型结构
在两个连接端口间创建一个连接的步骤是：

1. 将鼠标移至您想要建立连接的连接端口处用，改变的鼠标指示和改变颜色的连接端口表明你已经在连接器的位置上。



2. 按住鼠标左键不放，移动至新连接处的连接端口上



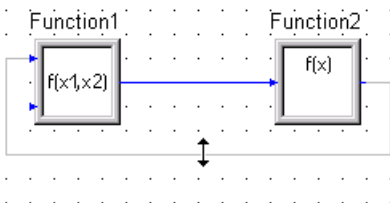
3. 放开鼠标左键，连接创建成功



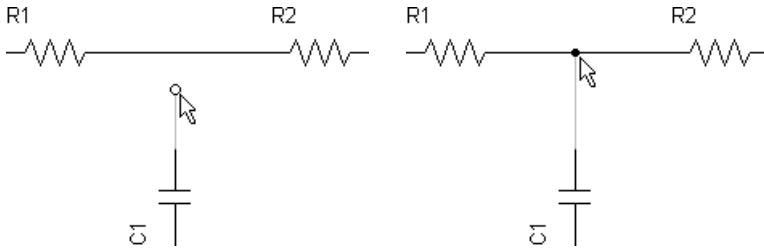
在创建途中鼠标左键移至模型图空白处松开或者选择取消键都可以中止连接的创建

提示 ITI-SIM 3.x 用户： 创建连接可以不必在编辑模式下进行

连接的路线将自动生成，但是路径的修改可以随时进行。修改时先点击您要修改的连接，按住全选键 (Alt)，鼠标将指示您可移动的这一被选连接部分的方向。



为了使模型更清楚，连接可分路。这样，连接可以在新连接和已有的连接上以任何方向创建。



演示范例：

根据下列指示连接两个质量块和弹簧阻尼单元。

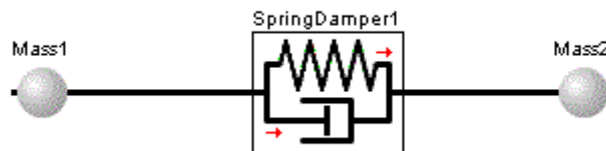


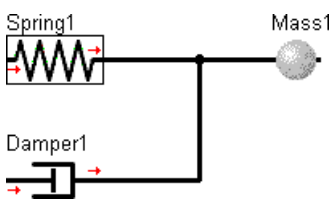
图 9：模型构建

注意，您只能连接同一物理库的元件（如：力学弹簧不能连接液压节流阀）。SimulationX 自动生成这样的连接。



c.) 怎样选择一个元件

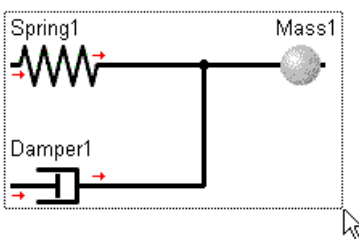
鼠标点击选择元件。一旦选择上将被一个方框加重强调。单个元件的选择也可在相应的模型资源管理器中的进行选择。



怎样选择几个元件

可以用两种方法选择多个元件

1. 在各个元件周围画框围起



2. 按住 Shift 键可以在已选的基础上再加选其他元件。移动步骤一样。

d.) 键入参数


为了完成我们的模型，首先我们要输入我们想要的模型参数





在模型图中或模型属性结构图中选择您想要修改的组件（元件或连接），在模型图中被选的组件，同时也会在树形图中被选，反之亦然。



被选的组件的相关参数和结果变量被显示在两个表格中。如要修改，则点击您想要修改的表格区，以修改表格内容或从相应的选择列表中选择入口。

一旦修改，相应参数不会更新直至完成或确认命令的输入。完成命令的输入有以下几个方法：

- 用↑或↓键换行，或鼠标点击新区域
- 按返回键
- 点击模型图换窗口

点击或在命令菜单中选择"*Edit/Undo*"，放弃更正。

( → ). 确定一个结果变量的输出属性，在输出纪录栏中点击相应的符号( → ).

Comment	Name	Current Value	Unit	Protocol
► Pressure	p	0	bar	
Temperature	T	-273.15	°C	

结果变量的当前值不能被修改，但是变量的度量单位可以修改。

演示范例：

输入以下参数

Mass1	Mass	m	250	g
	Initial Displacement	x0	5	mm
Mass2	Mass	m	2	kg
SpringDamper1	Stiffness of Contact	k	1	N/mm
	Damping of Contact	b	2	Ns/m

表 1：元件的参数

在元件的属性对话框（双击）或模型的资源管理器中可以输入或更改元件属性。

在模型资源管理器的上部区选项中参数可更改，下半部分区的结果变量可访问。






<div> <div>Modell1 (Two_Mass_C)</div> <div> <div>springDamper1</div> <div>mass2</div> <div>mass1</div> <div>connection1</div> <div>connection2</div> </div> </div>	Comment	Name	Current Value	Unit	Quantity	Current Value in SI-Unit
	Initial Velocity	v0	0	m/s	Velocity	0
	Initial Displacement	x0	5	mm	Displacement	0.005
	Mass	m	250	g	Mass	0.25
<div> <div>Components</div> <div>Types</div> </div>	Comment	Name	Current Value	Unit	Quantity	Protocol
	Inertia Force	Fa	0	N	Force	
	Displacement	x	0	m	Displacement	
	Velocity	v	0	m/s	Velocity	
	Acceleration	a	0	m/s ²	Acceleration	
	Power Flow	Pm	0	kW	Power	

图 10：在模型浏览器中质量块 1 的参数

注意十进制分隔符用点表示（不是逗号）

之后请激活结果变量的输出属性，这样你可以在仿真时或仿真后显示他们。



激活下列结果变量的输出属性:

- Mass1 Displacement (x)
- Mass2 Displacement (x)
- SpringDamper1 Internal Force (Fi)
- SpringDamper1 Displacement Difference (dx)

e.) 运行仿真

基于准备好模型您现在可以在 SimulationX 运行模型的所有计算

- 时域仿真
- 平衡计算
- 线性模型分析（固有频率与模态）

设定在时域仿真中，图 11 显示了控制仿真的对话框。打开这个对话框请选择‘仿真/属性’

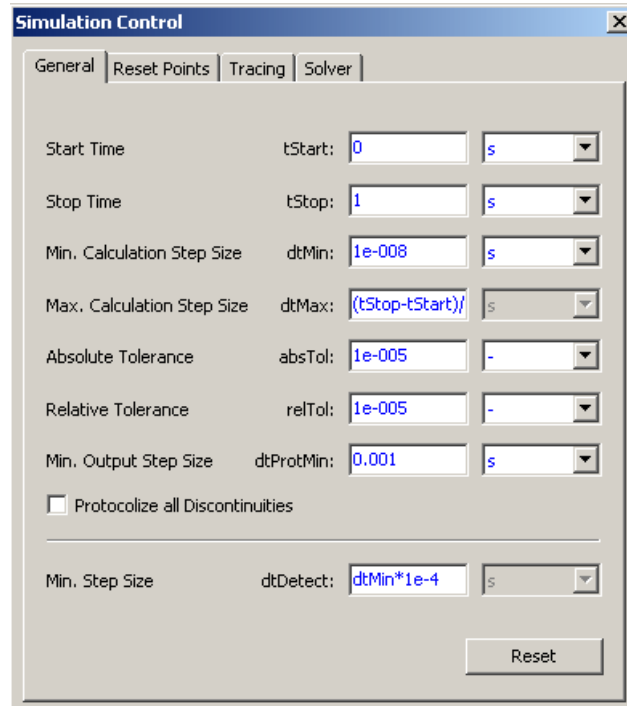


图 11: “仿真” 属性窗口

选择菜单‘仿真/开始’或者选择工具栏中的  就可以开始仿真直至设定时间结束。缺省时间长度是 1 秒，您可在‘仿真/属性’中进行修改。

f.) 打开结果窗口

下面展示仿真结果。激活的输出量符号可被拉入模型图示中或者已打开的结果窗口中，只要把鼠标点住激活的输出量符号不放，拉入您想要的位置即可，当放开鼠标键时，它已经在一个新的或已经打开的结果窗口中。

演示范例:



我们为在一个 $y=f(t)$ 图中的变量质量块 1.x 创建结果显示。请用以上描述的拖放步骤正确打开结果窗口，点击选择模型图中的“Mass1”元件，即可看见模型资源管理器中可访问的结果变量。用鼠标左键点击协议属性不放，拖至模型图中替代“质量块 1”，当放开鼠标时即可见结果窗口。

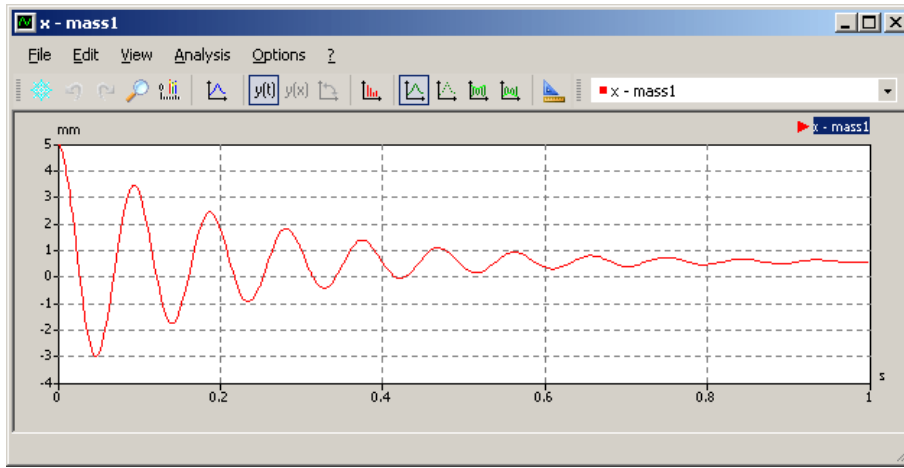


图 12: “质量块 1.x”的结果窗口

演示范例:

现在已存在的结果窗口中加入结果变量“质量块 2.x”
重复上述步骤，结果窗口即可见两条曲线。

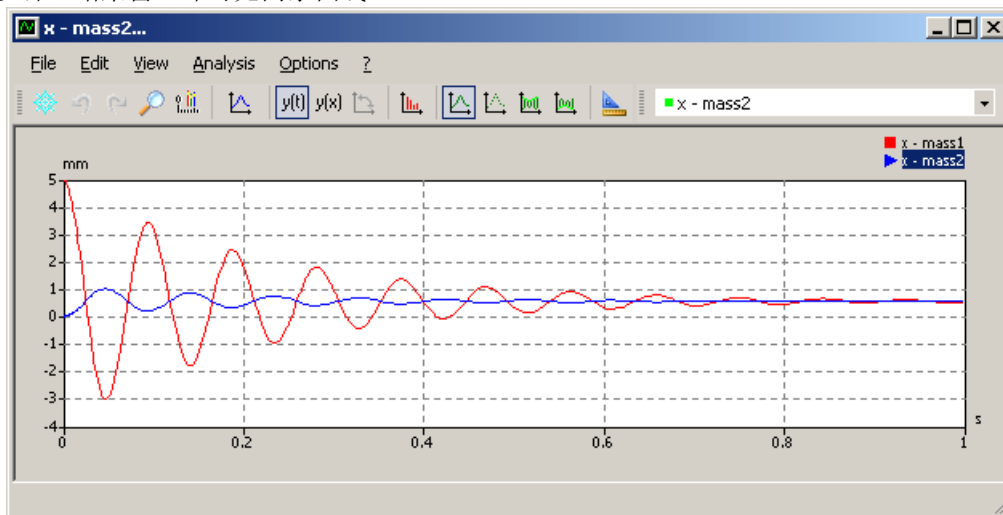



图 13: 两条曲线的结果窗口

现在我们将展示弹簧阻尼元件(y(x) 图表)的位移差异(dx) 与内力的关系。我们已经激活了相应的输出协议属性，所以在仿真过程中结果已经保存。现在你创建一个包括 dx 和 Fi 的结果窗口（质量块位移在上面已被描述）。在结果窗口工具栏中通过按 $y(x)$ 键，结果展示将切换到 y(x)模式。现在你能看到如图 14 所示的曲线。通过按  键你可以交换两轴的位置。

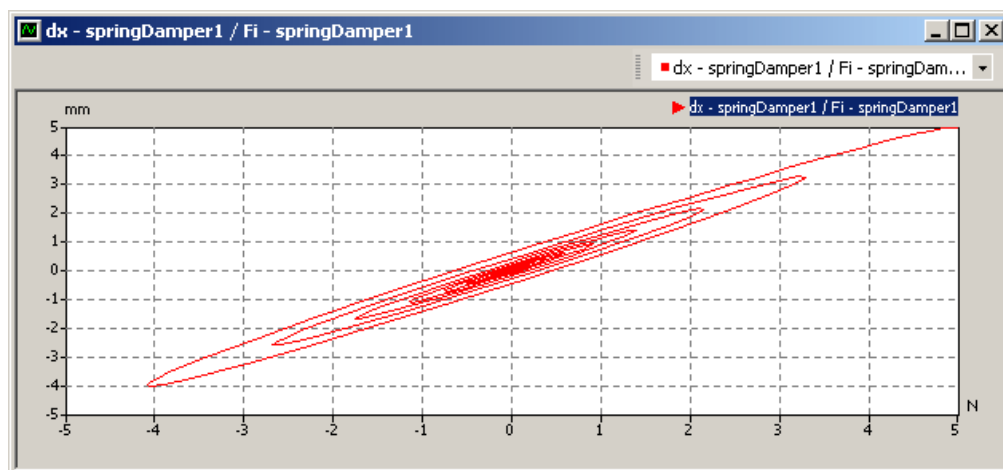









图 14: 一个 y(x)-表示法的结果窗口

现在你可以运行模型，按 , 重启仿真，设置好参数或结构变化然后重新仿真，在重启时所有结果曲线被清除。注意，如果您要保留哪条曲线，在重启前按  键保存它即可，这样您可以通过比较直接的观察到随着参数变化曲线的变化动态。

ITI SimulationX 多域系统的建模和分析

ITI SimulationX 能提供最快和最有效的问题解决方法和技术系统的评估与最优化

- 参数自动学习（按  或选择菜单“分析/变量助手”）
- 线性系统分析：分析固有频率和模态（按  键或选择菜单“分析/自然频率……”）
- 线性系统分析：输入-输出分析（按  或选择菜单“分析/输入-输出分析”）
- 扩展现有元件（按  或选择菜单“元件/派生”）
- 创建**组件**（按  或选择菜单“元件/组合”）
- 使用类型设计器/流体设计器，创建你自己的元件类型和**流体**。
- **执行你自设的算法**
- 联合仿真
- 代码输出

指南 2：液压缸驱动器

目标：

该指南将指导您创建一个简单的由比例方向控制阀控制的液压缸驱动模型。首先我们创建一个开环系统，即实际液压缸位置和控制阀之间没有反馈。然后，测量液压缸的位置并与命令信号作比较来创建一个闭环系统。

根据比例方向控制阀发出的命令信号，通过液压回路在垂直方向上举起（或降低）负载块，我们使用一个定流量泵供压，以恒速驱动它，并把它与减压阀相连。这个系统的优点在于它的简单，至于它的效率则很低，那是因为大量的能量在通过减压阀时被消耗。



在这里我们假定您已熟知 SimulationX 的基本功能。请参考“指南 1：入门”以了解如何从库中选择元件，如何连接元件及输入参数，如何运行一个仿真以及如何打开结果窗口。

第一部分：开环系统

根据图 1 创建液压缸驱动器 SimulationX 模型。请用表 1 中的元件。每个对象的标签内容和标签位置可通过双击元件选择“General/Name”来改变，您必须填写名字不留空白（如“CylinderDrive”）

注意，在元件相互连接时，您只能连接相同库类型的元件。

在液压缸对象中，不包括液压缸活塞质量。所以您必须通过连接元件“Mass”与气缸来模拟活塞质量，这样活塞质量与负载量会同时出现。

切断已有连接，请点击它并按“Del”键

连接路径是自动生成的，但是您可以随时改变路径，只要把鼠标移至连接处，同时按住“Alt-key”键，鼠标将指示您可移动这段连接的方向。

■ 多领域建模

■ 从简单到复杂模型的开发

■ 控制缸驱动器结构

■ 结果分析和特性的改进

■ 参数学习

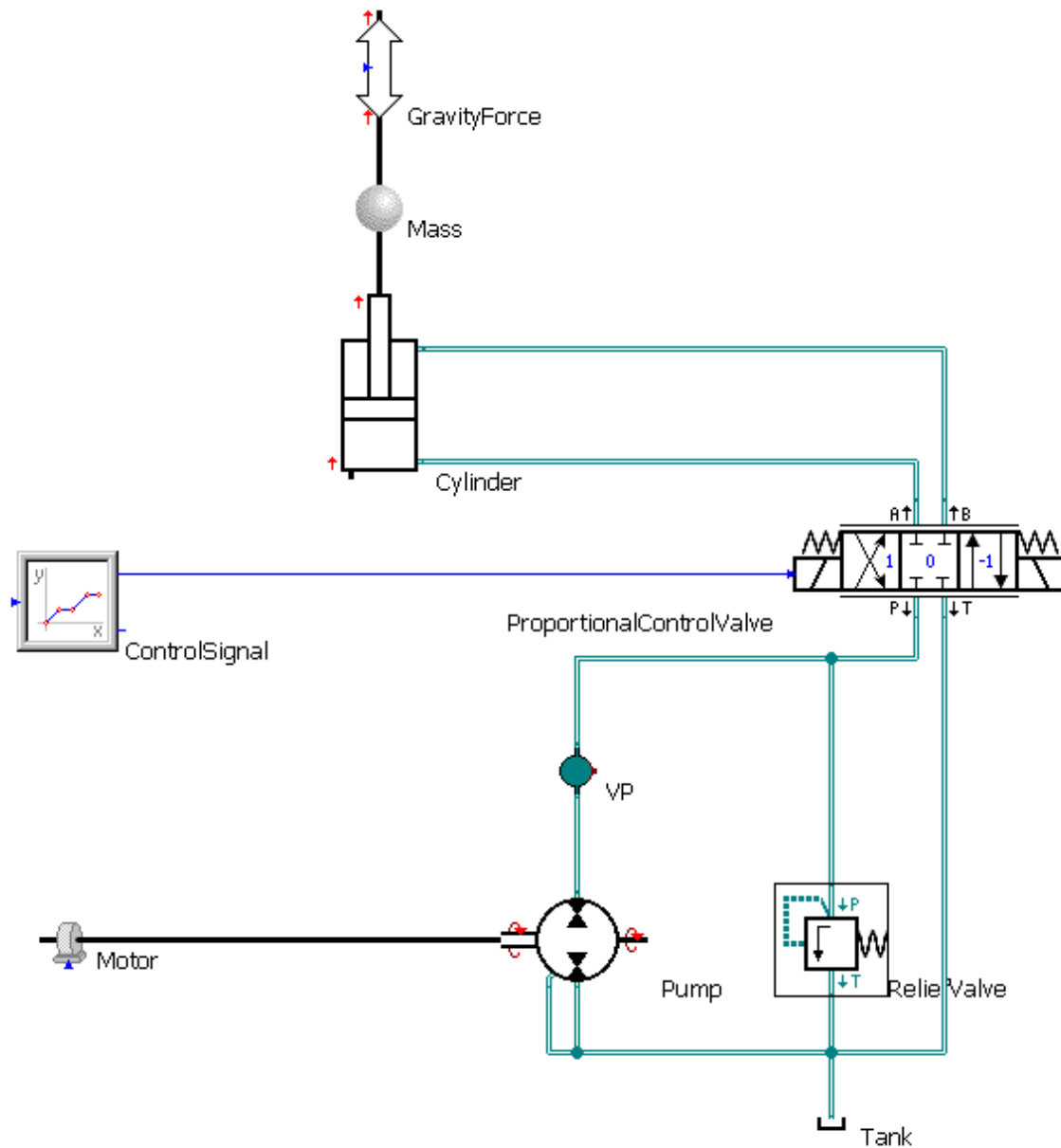



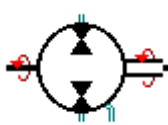







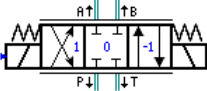



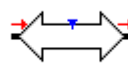



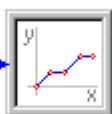


图 1: 开环液压缸驱动模型结构


表 1: 在图 1 中组成回路所需的元件













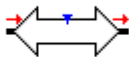


Number of elements 元件序号	学科库名称	元件名称	符号
1	Hydraulics/ Actuators 液压/执行器	差动缸 	
1	Hydraulics/ Actuators 液压/执行器	r 定流量泵/马达 	
1	Hydraulics/ Basic Elements 液压/基本元件	容量 	



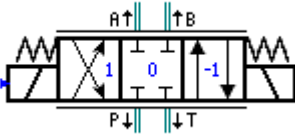
1	Hydraulics/ Valves/ Pressure Valves 液压/阀/压力阀	液压调节阀 	
1	Hydraulics/ Basic Elements 液压/基本元件	油缸 	
1	Hydraulics/ Valves/ Proportional Directional Control Valves 液压/阀/比例方向控制阀	比例方向控制阀 	
1	Mechanics/ Linear Mechanics 力学/线性力学	质量 	
1	Mechanics/ Linear Mechanics 力学/线性力学	外力 	
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	预设 	
1	Signal Blocks/ Signal Sources 信号模块/信号源	曲线 	

一旦根据图 1 成功创建了模型结构，您便可以输入元件参数，激活您想在仿真后显示的结果变量的输出属性。每一元件都有缺省参数，您只需更改与你的模型参数不同的缺省值。表格 2 展示了你需设定的参数，有些参数对话框不止一页。

表 2：在表 1 中列出元件的参数设定

Element 元件	Parameter Input 参数输入
 <p>Cylinder 液压缸</p>	<p>对话框 “Geometry”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 设定气缸最大行程为 400mm Maximum Cylinder ... maxStroke: <input type="text" value="400"/> mm 设定在阀口A到阀口B的“死区容积”为 100 cm³（首先，选择适当的单位，然后键入数值。） Dead Volume Port A volQA: <input type="text" value="100"/> cm³ Dead Volume Port B volQB: <input type="text" value="100"/> cm³ 设定“活塞壳体的”为 200 mm Transfer of Coordinates dxh: <input type="text" value="-200"/> mm

	<p>对话框“<i>Friction</i>”:</p> <div><div>Friction Description</div><div>cylFriction: No Friction Losses</div></div> <p>对话框“<i>Results 2</i>”:</p> <ul style="list-style-type: none">激活结果输出属性-> <div><div>Pressure Chamber A</div><div>pA:</div><div></div><div>bar</div></div> <div><div>Pressure Chamber B</div><div>pB:</div><div></div><div>bar</div></div> <div><div>Pressure Drop A -> B</div><div>pAB:</div><div></div><div>bar</div></div> <div><div>Volume Flow Port A (Meter-in Flow)</div><div>QA:</div><div></div><div>l/min</div></div> <div><div>Volume Flow Port B (Meter-in Flow)</div><div>QB:</div><div></div><div>l/min</div></div>
<p>Mass 质量</p> 	<ul style="list-style-type: none">设定质量为 100kg <div><div>Mass</div><div>m:</div><div>100</div><div>kg</div></div> <ul style="list-style-type: none">设定初始位移和速度为零 <div><div>Initial Displacement</div><div>x0:</div><div>0</div><div></div><div>mm</div></div> <div><div>Initial Velocity</div><div>v0:</div><div>0</div><div></div><div>m/s</div></div> <ul style="list-style-type: none">激活输出属性 <div><div>Displacement</div><div>x:</div><div></div><div>m</div></div> <div><div>Velocity</div><div>v:</div><div></div><div>m/s</div></div>
<p>GravityForce 重力</p> 	<ul style="list-style-type: none">设定外力为(Mass.m*9.81) N <div><div>Force</div><div>F:</div><div>Mass.m*9.81</div><div>N</div></div> <p>注意，在 SimulationX 中你可以输入常量、算术表达式、布尔数学表达式、任何参数的变量和函数。在上述情况下，表达式考虑了 Mass.m (100) kg 的重力。</p> <p>当使用“外力”元件时，你必须决定是否在左侧或者右侧连接力学元件（例如：质量）。在我们的案例中，我们已经将力的左侧与质量块连接（见图 1）。这意味着，力将阻止质量块向正方向运动。红色小箭头指向元件（质量块）正方向，白色大箭头指向外力的正方向。</p> <ul style="list-style-type: none">激活外力输出属性 <div><div>Internal Force</div><div>Fi:</div><div></div><div>N</div></div>
<p>Pump 泵</p> 	<p>对话框“<i>Geometry</i>”:</p> <ul style="list-style-type: none">设定流量容积为 50 cm³ <div><div>Displacement Volume</div><div>Vd:</div><div>50</div><div>cm³</div></div> <p>对话框“<i>Friction</i>”:</p> <div><div>Friction Description</div><div>frKind: No Friction Losses</div></div> <p>Dialog page “<i>Leakage</i>”:</p>

	<p>对话框“Leakage”:</p> <p>Leakage Description IKind: <input type="text" value="No Leakage"/></p> <p>对话框“Results”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 激活阀口 A 流量输出属性 <p>Volume at Port A VA: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="cm³"/></p>
<p>Motor 马达</p> 	<p>对话框“Parameters”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 选择“旋转速度” <p>Kind kind: <input type="text" value="Rotational Speed"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 首先选择单位“rpm”，然后选择旋转速度的数值 <p>Rotational Speed om: <input type="text" value="1000"/> <input type="text" value="rpm"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 激活扭矩和功率的输出属性 <p>Torque T: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="Nm"/></p> <p>Power Pe: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="Nm/s"/></p>
<p>ReliefValve 调节阀</p> 	<p>激活结果变量（压力损失、容积流量、功率损耗）的输出属性</p> <p>Pressure Drop P->T pPT: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="bar"/></p> <p>Volume Flow (Meter-In Side) Q: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="l/min"/></p> <p>Mass Flow mdot: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="kg/s"/></p> <p>Power Dissipation Pdiss: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="kW"/></p>
<p>ProportionalControlValve 比例控制阀</p> 	<p>对话框“Stroking”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 在选择工具箱中，“行程信号”选择“规范化信号” <p>Stroke Signal strokeDescr: <input type="text" value="Normalized Signal (-1 ... 1)"/></p> <p>注意：“规范化信号”意思是，输入信号的有效范围必须从-1 到 +1。在其中心位置，设置输入信号数值为零。</p> <p>对话框“Q-y-Function”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 在选择工具箱中，“阀形口类型”选择“相同轮廓” <p>Type of Edges edgesEnum: <input type="text" value="Identical Edges"/></p> <ul style="list-style-type: none"> 设定每一个冲程改变的流量为(60 l/min)/- <p>Flow per Stroke dQ dy: <input type="text" value="60"/> <input type="text" value="(l/min)/-"/></p> <p>注意：60 (l/min)/- 数值的意思是，在压力损失为 35 bar（在单边阀缘上）时，我们需要 60l/min 的流量来完全打开阀体。</p> <p>对话框“Dynamics”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 关闭阀体动力特性属性 <p><input type="checkbox"/> Consider Valve Dynamics</p> <p>Dialog page “Results”:</p> <p>对话框“Results”:</p>

- 激活相对阀冲程的输出属性

Relative Valve Stroke yRel: %

- 激活阀口 A 和 B “流量” 输出属性

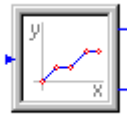
Volume Flow Port A QA:  l/min

Volume Flow Port B QB:  l/min

- 激活“功率损耗”输出属性

Power Dissipation P_{diss} : kW

功率损失允许你研究系统的总效率。

ControlSignal
控制信号

对话框“*Parameters*”:

- 选择“仿真时间 t [s]”

Reference Value RefVar:

- 点击“*Edit*”按钮，打开对话框为了“数值输入”

Curve curve: [Edit...](#)

- 在工具栏中使用“属性”按钮选择坐标轴及坐标值。

[illegible]

在“属性”窗口中，你必须输入注释和坐标值。







在 X 轴输入仿真时间，在 Y 轴上输入注释“Signal Output”及坐标值——“Base Quantities/ Relative Magnitude”。

- 输入下列数据，当完成时点击 *OK*。

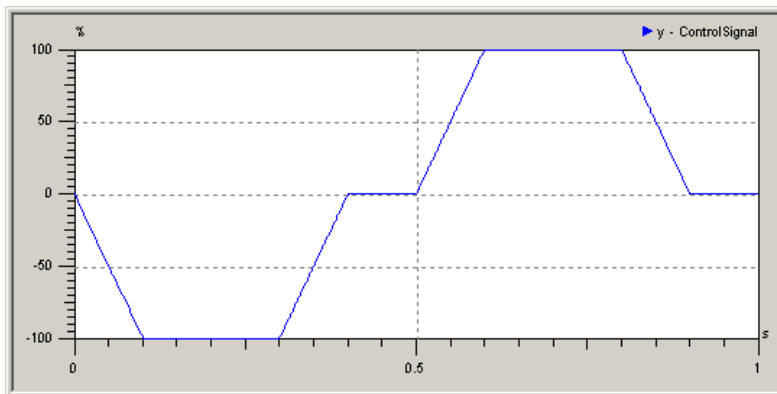
The screenshot shows the 'Curve curve (ControlSignal)' dialog box. The 'Simulation time [s]' column lists values from 0 to 1. The 'Signal Output [-]' column lists corresponding values: 0, -1, -1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0. The graph on the right displays a red line plot of the signal output over time, showing a step-like function with a peak at 0.6s and a trough at 0.3s.

Simulation time [s]	Signal Output [-]
0	0
0.1	-1
0.3	-1
0.4	0
0.5	0
0.6	1
0.8	1
0.9	0
1	0

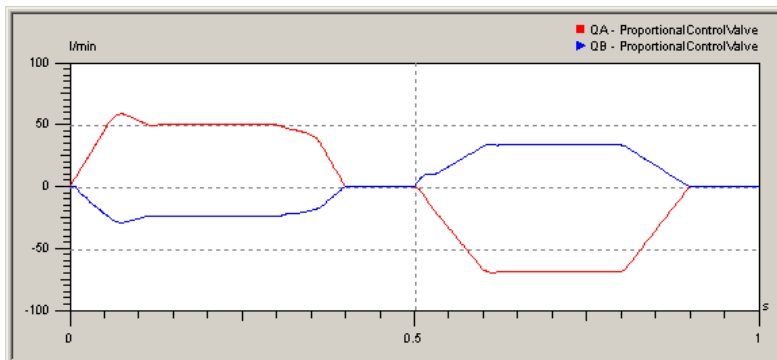
你也可以从 ASCII 文件加载现有的数据或者直接双击右侧的图形。二者选一，你可以从库“Signal Sources”中使用其他的元件。

	<ul style="list-style-type: none"> 激活结果变量“信号输出”输出属性 <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Signal Output y:  %  </div>
<p>VP 液压油泵</p> 	<p>对话框“Parameters”:</p> <ul style="list-style-type: none"> 沿定容积为 1 dm³(立方分米) <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Volume V: 1 dm³  </div> <p>注意: 在 <i>SimulationX</i> 中容量不是必须的条件, 然而零点油泵容量将导致一个无穷的快速压力变化, 且这个压力变化是不现实的。</p> <ul style="list-style-type: none"> 激活压力输出属性 <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> Pressure p:  bar  </div>

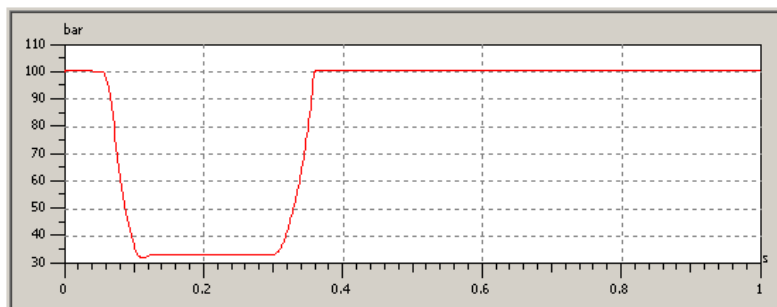
模型参数输入后, 您便可以运行仿真模型并观察结果。图 2 是一些仿真结果。如要改变液压流体可双击连接处并选择新的流体, 缺省值是“HLP 46”, 依照 ISO VG 46, 它是一种具有粘性特性的矿物油。



控制信号显示规定特性。如果阀的行程信号是负值, 液压缸的阀口 A 将与油泵连接。例如: 负载被举起。



阀口 A 和阀口 B 的流量与行程信号成某种比例。由于使用的是差动缸, 流量呈现非对称特性。最大正向流量不能超过油泵的流量 (50 l/min)。



容积内的压力不能超过调节阀设定压力 100 bar。在控制阀完全打开的情况下, 油泵的压力下降到 32 bar, 因此油泵不能够提供足够的流量。

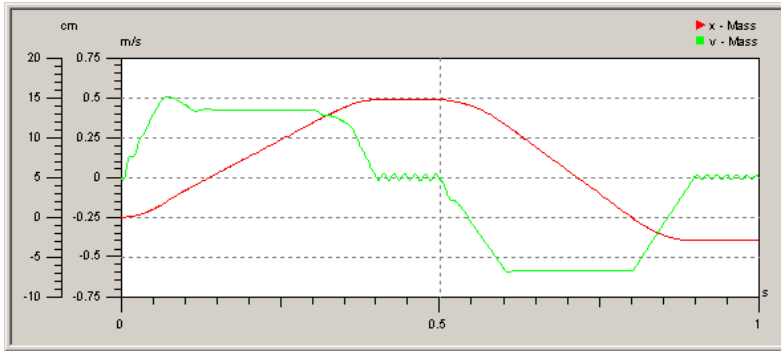
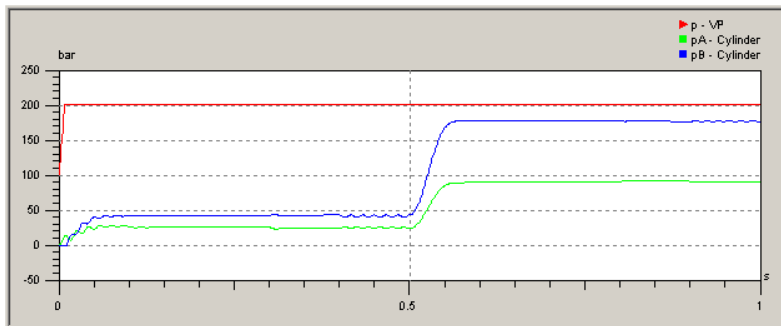


图 2：开环液压缸驱动器仿真结果

为了改进开环液压缸驱动器的性能（别忘了在修改前重启模型），你可以修改仿真模型。如果您做了如下改变，系统特性将发生明显的改变。

改变设定压力，将调节阀的压力从 100bar 升至 200bar，

并使用一个更小的比例控制阀（也就是从 60 (l/min)/-到 20 (l/min)/-改变“每个行程改变的流量”）



尤其最后的一次修改，因为降低了液压缸的流量需求，液压泵压力将保持常量。

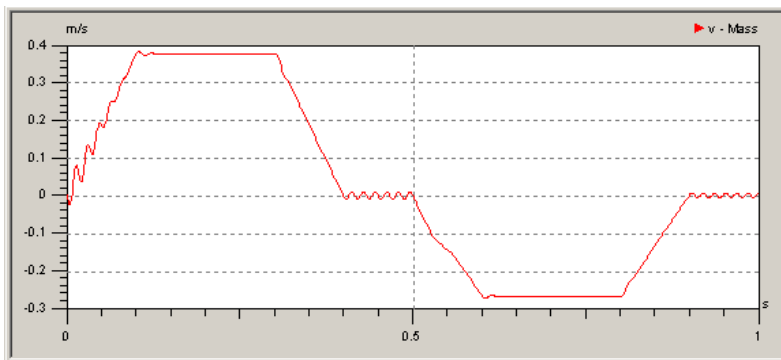



图 3：使用更小的控制阀后改良的压力和速度特性

第二部分：添加液压蓄能器

您可为系统添加一个储压器以补充液压缸短暂的流量需求，在添加之前，请重设比例控制阀的参数“每个行程改变的流量”，从 20 (l/min)/-升至 60 (l/min)/-。

添加液压蓄能器的步骤如下：

- () 重启仿真模型
- 打开“液压学库”（附件与传感器），根据图 4 连接流体容积“液压油缸”与‘液压气动蓄能器’

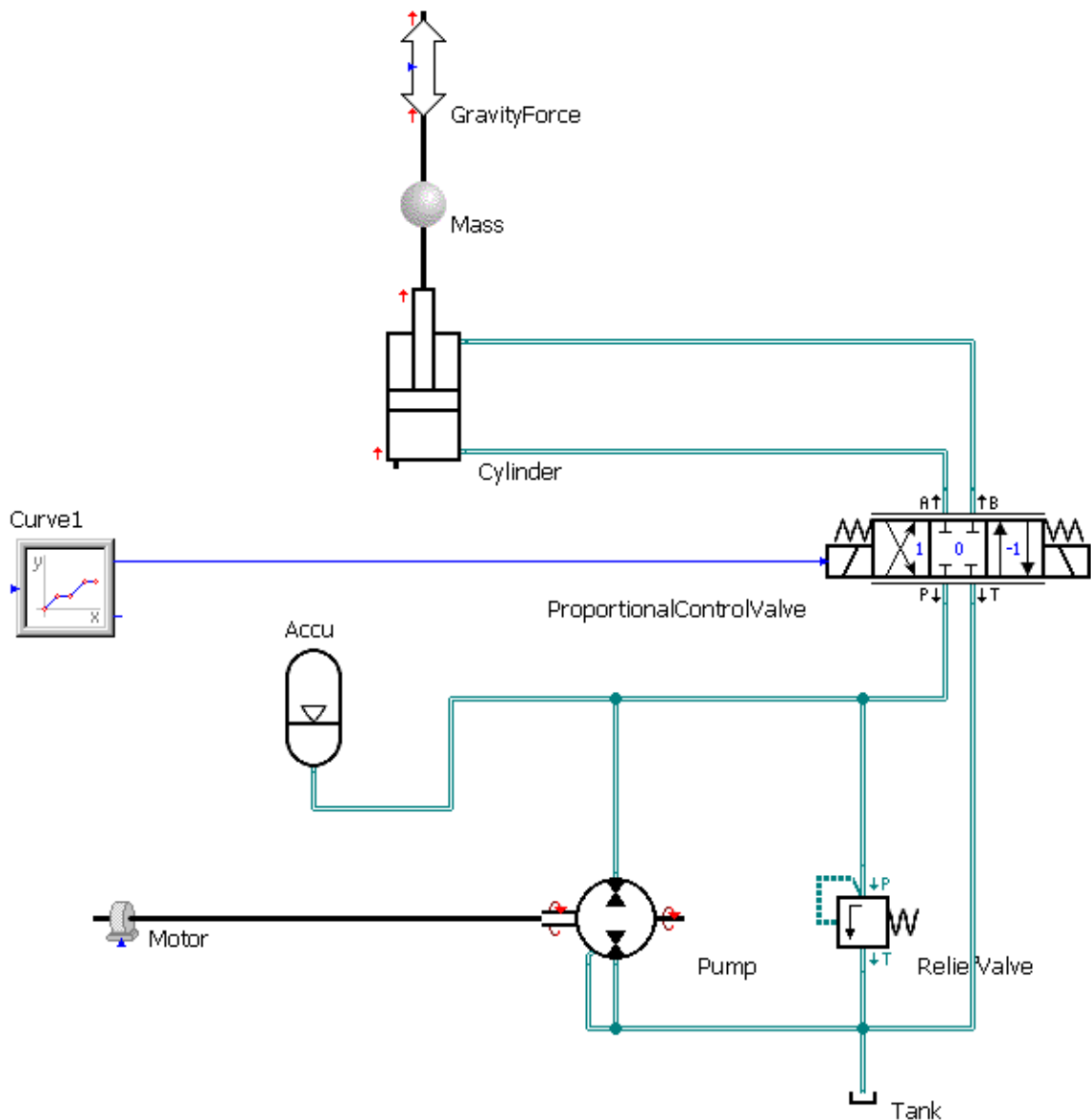
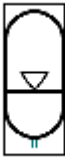


图 4：修改液压蓄能器模型结构

T 表 3：液压蓄能器参数

<p>Accu</p> <p>液压蓄能器</p> 	<p>对话框“Construction 1”:</p> <ul style="list-style-type: none">• 设定结构类型 “皮囊式液压蓄能器” <div><p>Construction Type</p><p>geomType: Bladder Accumulator (vertical)</p></div> <ul style="list-style-type: none">• 设定储压器气体容量为 5 dm3 <div><input type="text"/></div>
--	--

- 设定“满油压力”为 80 bar

Pre-Fill Pressure	pGasF:	80	bar
-------------------	--------	----	-----

- 设定死区容积为 100 cm³

Dead Volume at Oil-Side	VOil0:	100	cm ³
-------------------------	--------	-----	-----------------

对话框“*Operating Conditions*”:

- 设定“最初的油压”为 100 bar

Initial Oil Pressure	pOil0:	100	bar
----------------------	--------	-----	-----

对话框“*Results 1*”:

- 激活“油压”输出属性

Oil Pressure (relative to pAtm)	pOil:	<input checked="" type="checkbox"/>	bar
---------------------------------	-------	-------------------------------------	-----

- 激活“油容积流量”输出属性

Volume Flow of Oil into Accumulator	QOil:	<input checked="" type="checkbox"/>	l/min
-------------------------------------	-------	-------------------------------------	-------

- 激活“气压”输出属性

Gas Pressure (relative to pAtm)	pGas:	<input checked="" type="checkbox"/>	bar
---------------------------------	-------	-------------------------------------	-----

- 激活“气体容积”输出属性

Gas Volume	VGas:	<input checked="" type="checkbox"/>	dm ³
------------	-------	-------------------------------------	-----------------

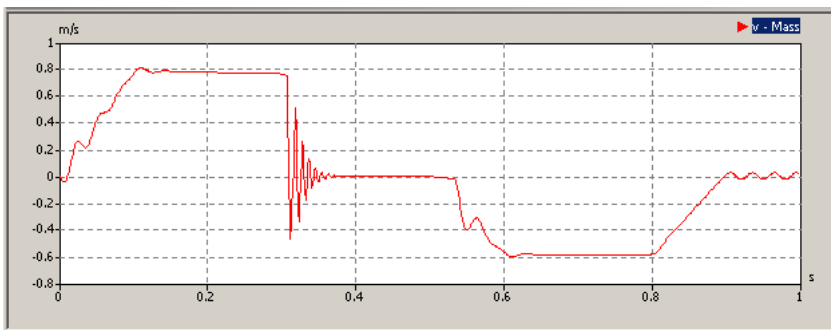


图 6: 改良的液压蓄能器速度

如果你运行仿真，你将发现，在 0.3 秒后，液压缸到达它的止停端。因为液压缸的止停端刚度较高。在这个时候，活塞的速度以非常高的频率开始振荡，

现在你可以调整止停端刚度和阻尼减小振荡，然而，你更好是将系统做成闭环液压缸驱动器。

第三部分：闭环系统



对于太多的工业应用，一个开环液压缸驱动器显然是不够的。闭环系统的出现使您能够大大提高样例中的液压缸驱动器的性能。图 7 与表 4 展示了增加的新对象。

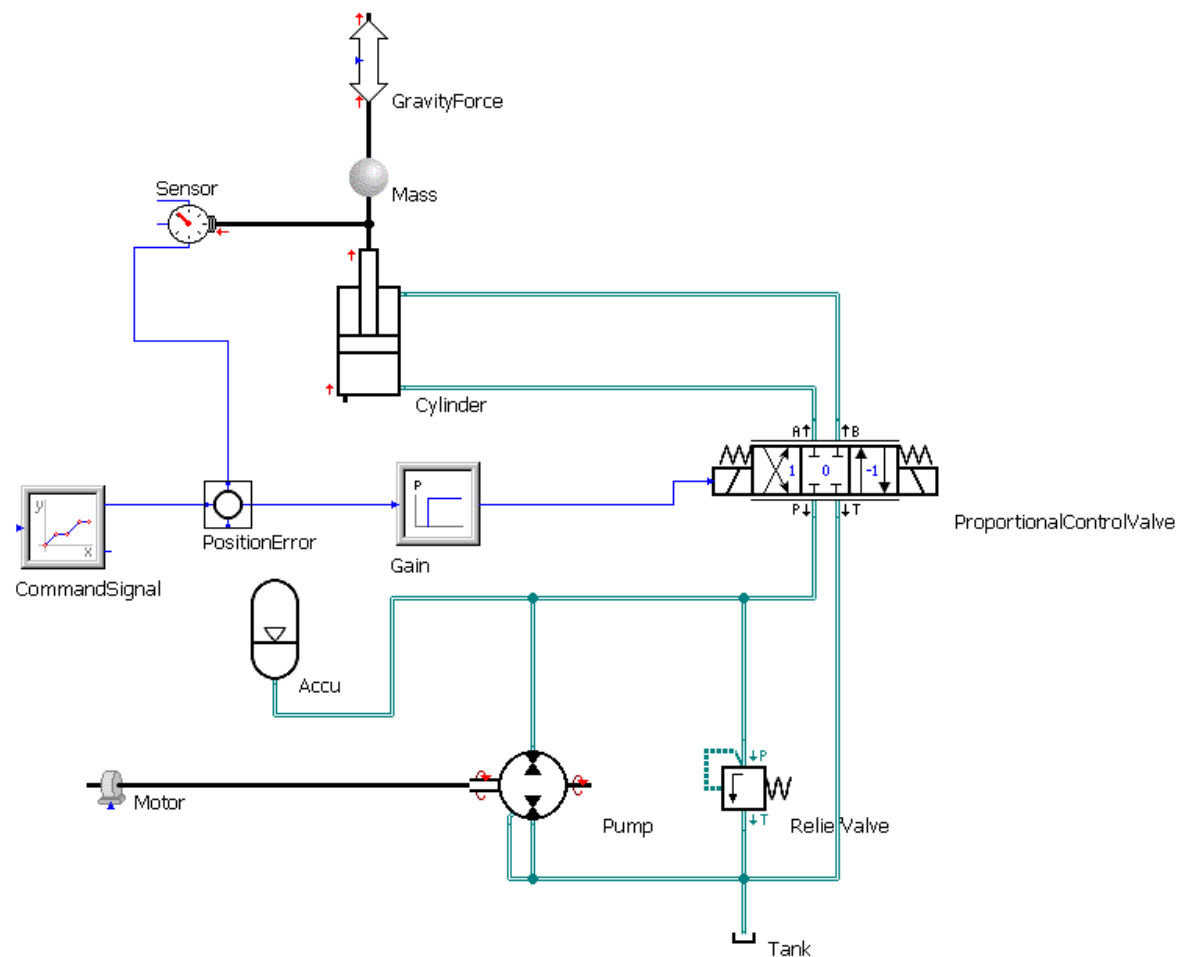
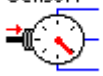
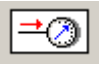

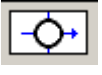



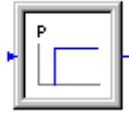



图 7：闭环液压缸驱动器

表 4：闭环系统需要的新对象



Object 对象	Library 数据库	参数												
Sensor 传感器 Sensor1 	Mechanics 力学 	无												
PistonError 活塞误差 Sum2 	Signal Blocks 信号模块 	<ul style="list-style-type: none"> 设定信号开关如下 <div data-bbox="686 1523 1433 1684"> <table> <tr> <td>x1</td> <td>X1Var:</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>x2</td> <td>X2Var:</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>x3</td> <td>X3Var:</td> <td>+</td> </tr> </table> </div> 注意：在控制过程中，我们必须对实际位移和给定位移进行对比。 激活输出信号的输出属性 <div data-bbox="686 1832 1433 1899"> <table> <tr> <td>Signal Output</td> <td>y:</td> <td> -</td> </tr> </table> </div> 	x1	X1Var:	-	x2	X2Var:	+	x3	X3Var:	+	Signal Output	y:	 -
x1	X1Var:	-												
x2	X2Var:	+												
x3	X3Var:	+												
Signal Output	y:	 -												
Gain 增益	Signal Blocks/ Linear Signal Blocks	缺省值												

	信号模块/线性信号 模块 	
---	--	--

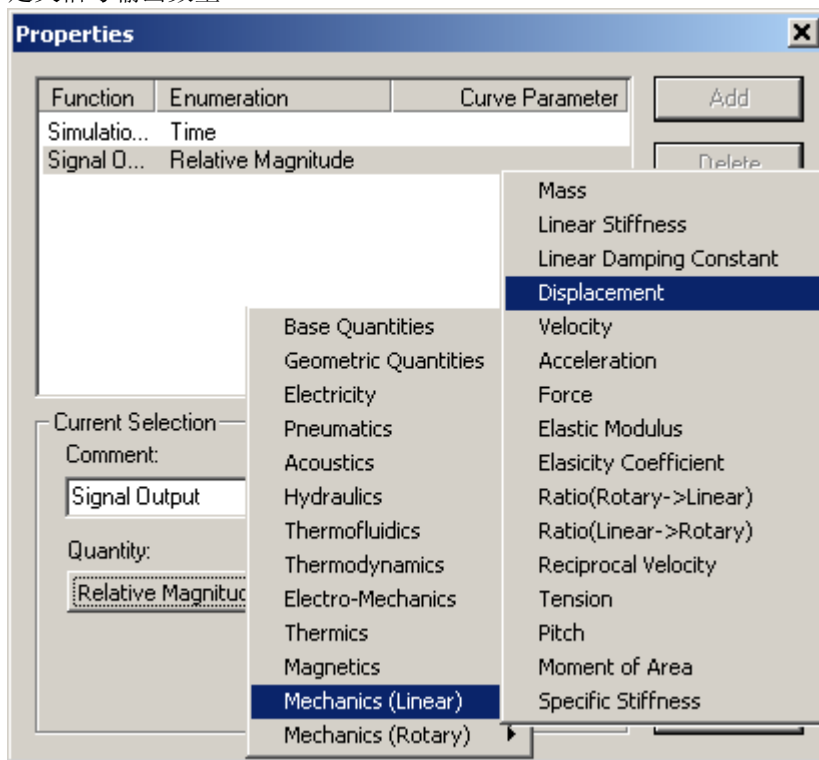
下一步，你必须把来数据表格的一个相对量 (-)型的命令信号变为一个位移信号(mm)。为了实现它，打开模型对象“命令信号”的参数对话框，过程如下：

- 点击“参数”窗口中的“编辑”打开曲线编辑器窗口

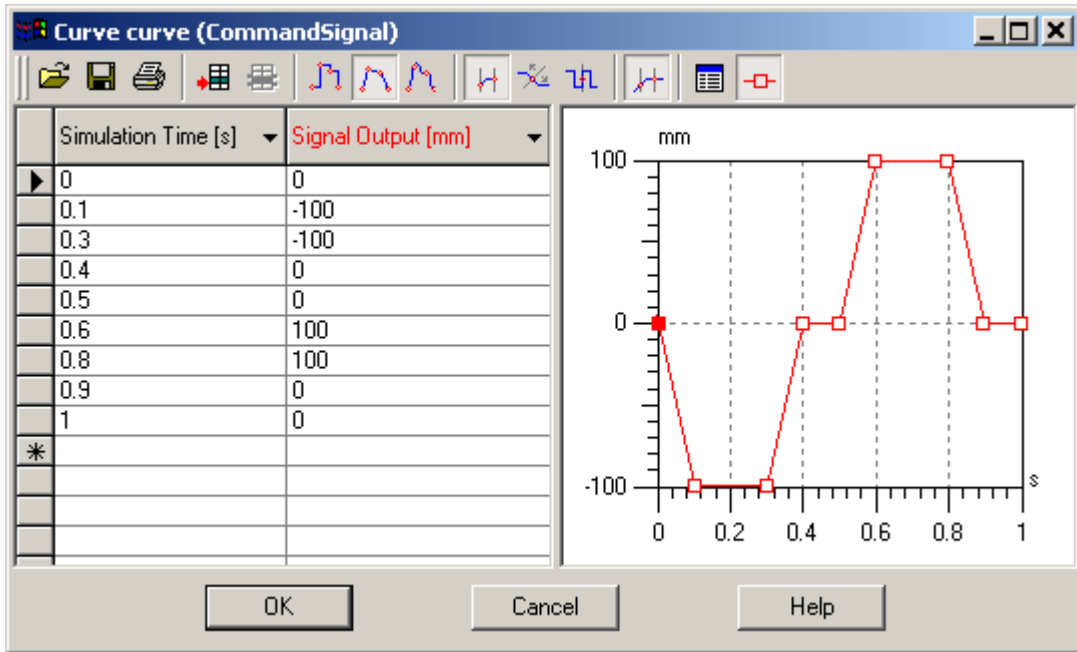


-  点击“属性”中的  键编辑单位

定义信号输出数量



设定表格中的最大值为 100mm



点击 **ok** 关闭曲线编辑器窗口

现在参数输入完成，可以运行模拟仿真。

命令信号已改变为位置信号，因为您现在能控制活塞位置而活塞位置已不是之前的比例控制阀的信号，液压缸驱动器的性能和之前不一样。

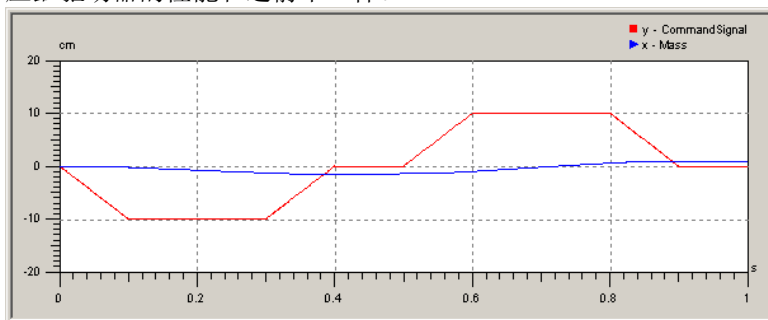
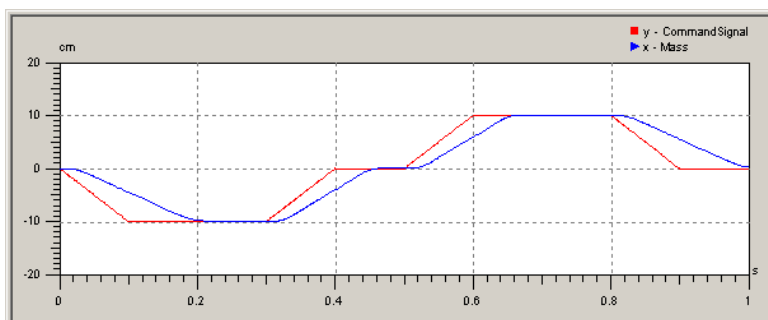
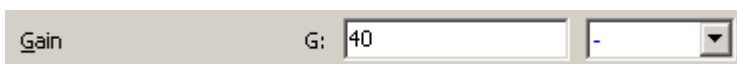


图 8：增益为 1 时闭环液压缸驱动器仿真结果

把增益从 1 调到 40：



比较命令信号的值，图中给出了活塞位移的结果。从中可以观测到，增益的信号是正确的，但是 1 这个数值太小了。

如果你再次运行仿真，你能观测到系统的性能得到了大大的改良。

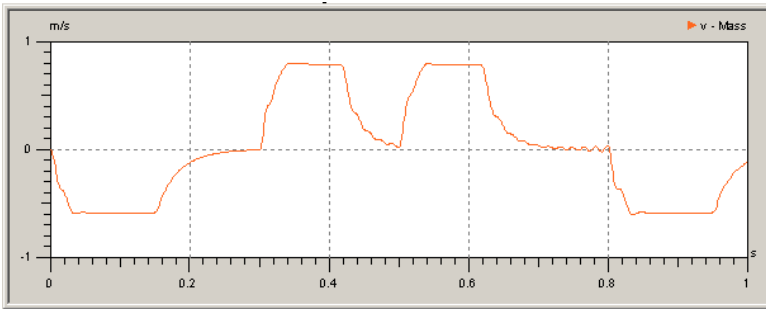


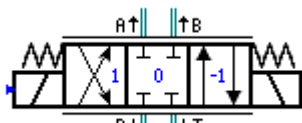
图 9: 增益为 40 的仿真结果

如果在现实中出现这样的效果，那么增益必须减小。但是，在你的模型中您忽略控制阀的动态特性。你要考虑它的动态变化，所以要修改下列在“比例控制阀”中的参数。

表 5: “比例控制阀”的新参数

ProportionalControlValve

比例控制阀



- 激活阀体动态特性

☒ Consider Valve Dynamics

- 设定无阻尼“固有频率”为 18 Hz:

Natural Frequency (Und... f0: 18 Hz

- 设定“阻尼比”为 0.8:

Damping Ratio D: 0.8

包括阀门动态变化后再运行仿真，你能观测到系统现在是稳定的-见图 10

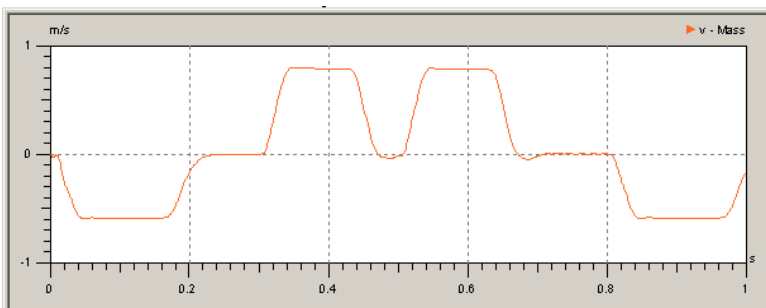


图 10: 在添加阀体动态特性的模型中增益为 40 的情况下质量块速度的特性

你可以进行各种仿真，如包括附加的物理效应（例如：摩擦力或者液压缸泄漏）或者使控制策略最优化（例如：通过一个 PID 模块来替代简单的 P-增益模块）。你也可以运用优化工具来得到控制器的最优值。

最后，让我们总结从这一指南得到的知识点

- 学会了如何建立 SimulationX 的液压驱动系统模型。大多数元件都有缺省参数和可定义的选项（如气缸摩擦和渗漏）
- SimulationX 的信号块（如信号源）的物理量、单位、参数名和结果可根据您使用更改。复杂的数据表也可以输入，或从外来文件导入。
- SimulationX 是直观的系统模拟工具，多学科领域的模型可以很快地被创建
- 基于对象的 SimulationX 可允许你轻松修改给定模型和调整以运用于新的仿真任务
SimulationX 模型类似实际的液压系统的结构，这意味着，在仿真时您可以集中精力研究您的工程任务而无需考虑这个系统繁杂的数学方程。而且其他的工程师也能更好的理解和利用您的模型。

指南 3：汽车传动系统和汽车仿真

目标：
这个指南将一步一步地指导你来建立一个不同复杂性的传动系统模型。第一步，构建一个简单的发动机模型。第二步，为了仿真整个过程（比如汽车从静止启动），那么模型应该包括基本的传动系统部件（离合器、齿轮、车轮）、汽车质量和行驶阻力。第三步，细化模型，这个模型可以仿真变速器振动现象的不同类型。建议如何开发出更详细的模型。
假定你已经熟悉了 SimulationX 的基本功能。那么请参阅“指南 1：入门”，指南 1 是对怎样从数据库中选择元件，怎样连接元件和设定参数，怎样运行仿真和怎样打开结果窗口的一般性说明。

第一部分：汽车加速度过程仿真

1. 发动机的建模

对于加速一辆汽车来说，用一个很简单的发动机模型来描述就已经足够了。通常使用发动机的万有特性，根据扭矩大小来描述发动机特性。创建 SimulationX 模型，如图 1 所示。

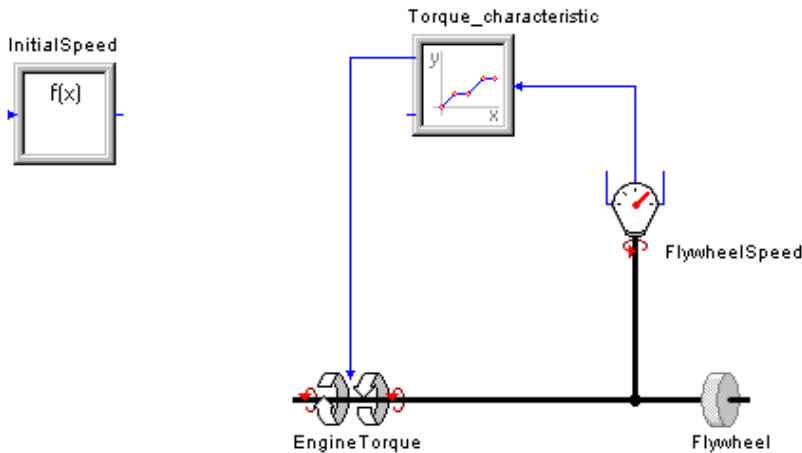



图 1：简单的发动机模型

如果想旋转一个模型元件，首先，应用鼠标左键选择元件，然后从“元件”菜单中选择“Rotate Left 向左旋转”或者“Rotate Right 向右旋转”。同样，实现这一操作，你也可以使用按钮 。

- 传动系统部件的简单模型
- 结果观测
- 模型扩展
- 参数变量的结果分析
- 参数的影响

改变一个元件的标签，可以双击这个元件打开属性窗口。使用对话框中的“**General**”来编辑其名称。并且这里也可以改变对象的标签位置。








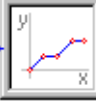

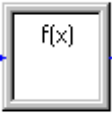
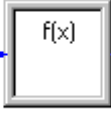



Number of elements 元件序号	Library name 学科库名称	元件名称 功能	Symbol
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	惯量 飞轮、离合器和变速器输入轴的惯量。提供发动机扭矩和测量发动机速度的元件。 	
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	外部扭矩 转速相关发动机扭矩 	
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	传感器 发动机速度测量（飞轮，传感器） 	
1	Signal Blocks/ Signal Sources 信号模块/信号源	曲线 速度扭矩特性 	
1	Signal Blocks 信号模块	模型参数存储器， 存储器中的模型参数是可以被修改的，并且能被使用在不同的模型元件上。 	

表 1：包括在发动机模型中的元件

依照图 1 你能顺利的创建模型结构，然后你必须输入元件的参数和激活如果你想得到结果变量的输出协议属性按钮。

建模对象	参数输入
初速度 	<p>在“Initial Speed”中，我们定义一个易获取的模型参数，并且该参数在仿真中可以用于不同的模型元件。由于该函数元件仅有一个基本量，因此我们采用字符串对其进行赋值。字符串也确定了该参数的单位。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 设定函数 $f(x)$ 为 800 rpm  <p>注意：通过在无量纲参数后附加由单引号包含的单位名称，即可为该参数添加单位。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 激活信号输出协议属性 
飞轮	<ul style="list-style-type: none"> • 设定参数“转动惯量”为 0.35 kgm^2 ——一个轿车发动机的特征值

	<p>Moment of Inertia J: <input type="text" value="0.35"/> <input type="text" value="kgm²"/></p> <ul style="list-style-type: none"> •输入元件“InitialSpeed 初速度”参数 F，为了设定飞轮的初始旋转速度 <p>Initial Rotational Speed om0: <input type="text" value="InitialSpeed.F"/> <input type="text" value="rad/s"/></p> <ul style="list-style-type: none"> •激活“旋转速度”和单位改变为“rpm” <p>Rotational Speed om: <input type="text" value="rpm"/></p>						
<p>发动机扭矩</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •通过键入输入信号的名称(in1)，根据信号输入的大小来分配发动机扭矩 <p>Torque T: <input type="text" value="self.in1"/> <input type="text" value="Nm"/></p>						
<p>扭矩_特性</p> 	<ul style="list-style-type: none"> •根据输入（发动机速度）获得结果（扭矩），设定“参照值”为“Input x 输入 X” <p>Reference Value RefVar: <input type="text" value="Input x"/></p> <ul style="list-style-type: none"> •通过点击编辑按钮打开曲线对话框 <p>Curve curve: <input type="button" value="Edit..."/></p> <ul style="list-style-type: none"> •通过点击“属性”一按钮  定义一个曲线范围和领域的名称，并定义相应的物理域和度量单位 <div data-bbox="539 974 1364 1720"> <p>Properties</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bezeich...</th> <th>Phys</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Speed</td> <td>Rotat</td> </tr> <tr> <td>Torque</td> <td>Torq</td> </tr> </tbody> </table> <p>Current Selection</p> <p>Comment:</p> <p>Torque</p> <p>Quantity:</p> <p>Torque</p> </div> <div data-bbox="746 992 1364 1653"> <p>Base Quantities</p> <ul style="list-style-type: none"> Geometric Quantities Electricity Pneumatics Acoustics Hydraulics Thermofluidics Thermodynamics Electro-Mechanics Thermics Magnetics Mechanics (Linear) Mechanics (Rotary) <p>Parameter</p> <p>Add</p> <p>Delete</p> <ul style="list-style-type: none"> Moment of Inertia Rotary Stiffness Rotary Damping Constant Angle Rotary Velocity Speed Rotary Acceleration Torque Elastic Modulus Ratio(Rotary->Linear) Ratio(Linear->Rotary) Moment of Area Reciprocal Rotary Velocity Tension Pitch <p>Close</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> •选择 X 为“力学（旋转）/旋转速度”，其单位是“rpm”，名称为“速度” •选择 Y 为“力学（旋转）/扭矩”，其单位是“Nm”，名称为“扭矩” •插入下列值 	Bezeich...	Phys	Speed	Rotat	Torque	Torq
Bezeich...	Phys						
Speed	Rotat						
Torque	Torq						

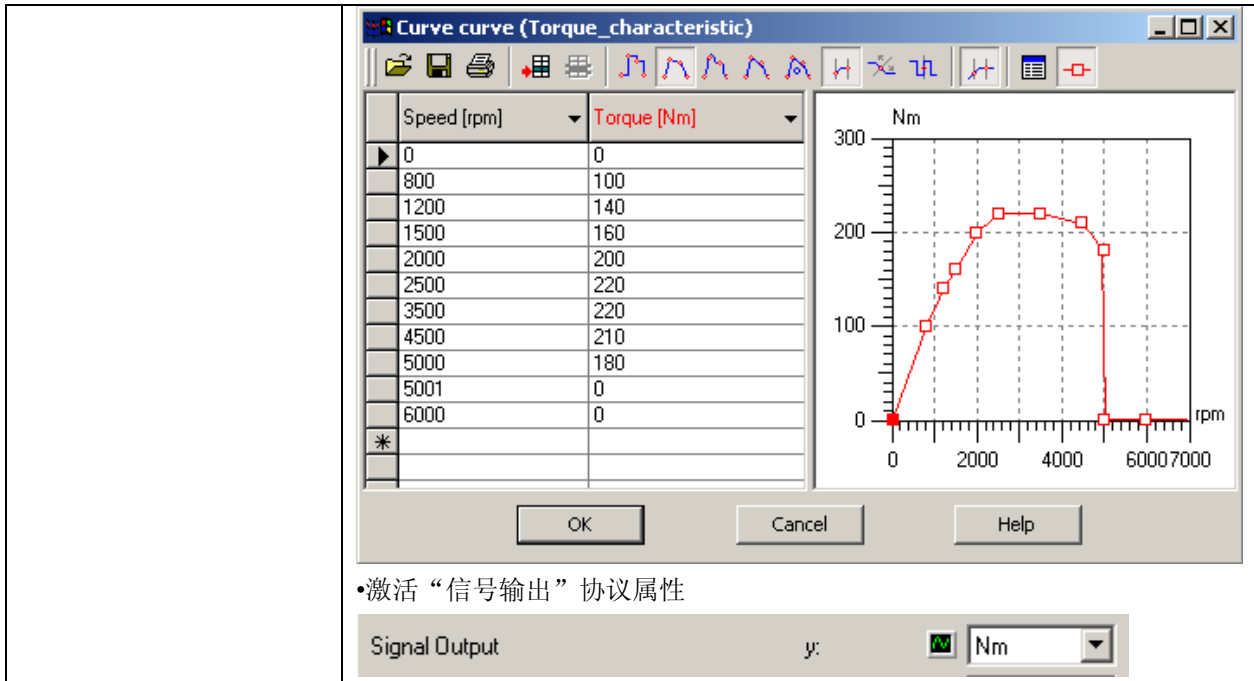
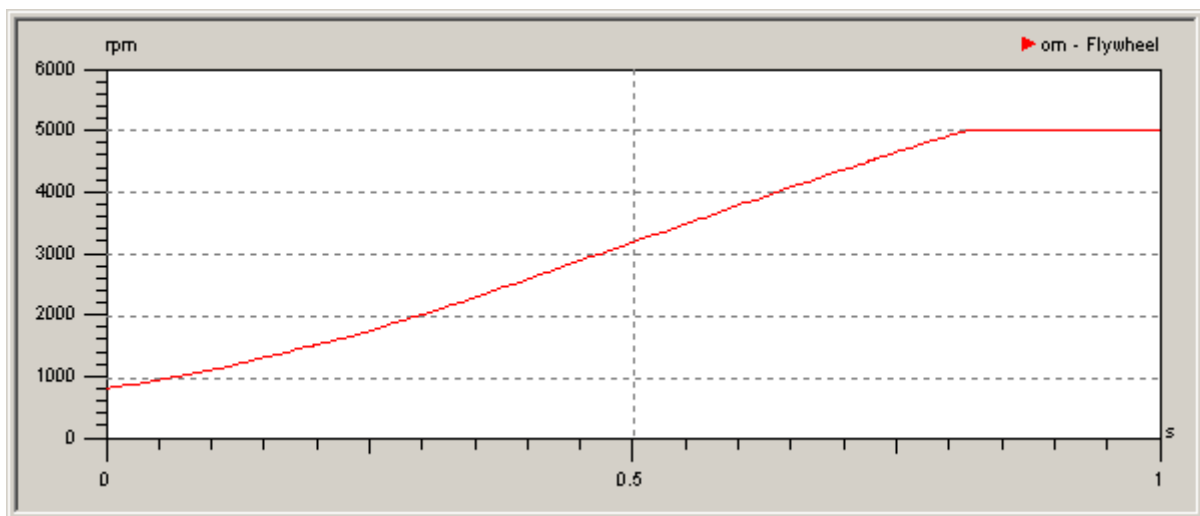


表 2: 参数输入

现在，对发动机进行一次测试运行。打开飞轮的速度结果窗口（从飞轮对象菜单中选择“结果曲线.../旋转速度”）来观测其运行状况，运行仿真你能观测到速度在不断的提升，直到它达到在扭矩特性中设定的最大转速 **5000 rpm**（参见图 2）。

图 2: 从 800 rpm 上升到最大转速 **5000 rpm** 发动机运行状况

1. 传动系统建模

你需要的汽车传动系统元件有一变速箱（带有一个固定齿轮）、车轴齿轮、车轮、汽车质量、空气阻力和轮胎滚动阻力。首先，重启仿真，然后建立传动系统模型，参见图 3。

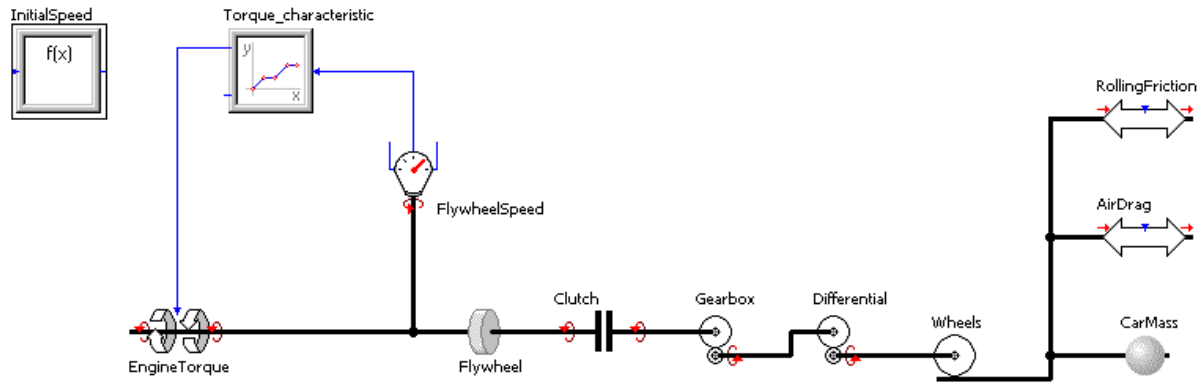


图 3：完整的传动系统模型

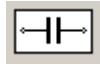

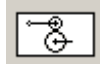





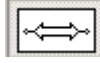
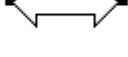




Number of elements 元件的序号	Library name 学科库名称	Object name Function 对象名称 功能	Symbol 符号
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	刚性摩擦 模拟离合器 	
2	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	齿轮 选定齿轮和差速齿轮的传动比 	
1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/旋转力学	旋转/线性运动转换 车轮 	
1	Mechanics/ Linear Mechanics 力学/线性力学	质量 汽车质量 	
2	Mechanics/ Linear Mechanics 力学/线性力学	外力 驱动阻力—空气阻力和车轮滚动阻力 	

表 3：模型中包括下列新的对象

你可以将对象重新命名。然后将新模型对象参数化。

模型对象	参数输入
Clutch 离合器 	<ul style="list-style-type: none"> 必须给定在滑动扭矩和从干摩擦粘扭矩。干摩擦粘扭矩应该比发动机所能提供的最大扭矩更大一些，所以设定其扭矩为 300 Nm。设定一个较小的滑动扭矩数值，选择 100 Nm 的滑动扭矩，使其与在初速度 800 rpm 时的发动机扭矩一样大。因此发动机速度将保持恒量，直到离合器完全闭合。 <div> Sticking Friction Torque T_{st}: <input type="text" value="300"/> <input type="text" value="Nm"/> </div> <div> Slipping Friction Torque T_{sl}: <input type="text" value="100"/> <input type="text" value="Nm"/> </div> <ul style="list-style-type: none"> 激活结果变量“摩擦状态”的输出属性，为了在仿真期间观测离合器元件的特性。 <div> State of Friction sf: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value=""/> </div>
Gearbox 变速箱 	<ul style="list-style-type: none"> 变速箱中选定齿轮的齿轮齿数比必须给定。齿轮齿数比即为旋转速度的比率，求解公式为： $i = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ <p>符号对应着各自的连接器。带有红色箭头的连接器是连接器 1。假设汽车在第一档位有一个 3.32（83 齿和 25 齿）的齿轮齿数比，然后在参数对话框中输入下列各项。</p> <div> Kind kind: <input type="text" value="Gear Ratio om2/om1"/> </div> <div> Gear Ratio om2/om1 i_21: <input type="text" value="3.32"/> <input type="text" value=""/> </div> <p>注意：在我们的模型结构中(图 3)，连接器 2 指向发动机的一侧，连接器 1 指向差速器。</p>
Differential 差速器 	<ul style="list-style-type: none"> 用和变速箱齿轮齿数比相同的方法来选择差速器的齿数比。对于一个差数齿轮来说选择齿数比 4 是比较合理的。 <div> Kind kind: <input type="text" value="Gear Ratio om2/om1"/> </div> <div> Gear Ratio om2/om1 i_21: <input type="text" value="4"/> <input type="text" value=""/> </div>
Wheel 车轮 	<ul style="list-style-type: none"> 这里需要对动力传动系统的旋转运动和汽车平移运动之间的转换进行定义，这个转化是通过车轮来实现的。这涉及平移连接（连接汽车质量）的速度和旋转连接（连接差速器）的速度比。它等于车轮圆周（米）和相应角度 2π（弧度）的比，也就是车轮半径。选择一个 0.35m 的半径，在下列项中输入。 <div> Kind kind: <input type="text" value="Translational-Rotational Gear"/> </div> <div> Gear (v/om) i_TR: <input type="text" value="0.35"/> <input type="text" value="m/rad"/> </div>
CarMass 汽车质量	<ul style="list-style-type: none"> 在汽车质量元件的参数对话框中输入汽车的质量为 1400 kg。 <div> Mass m: <input type="text" value="1400"/> <input type="text" value="kg"/> </div> <ul style="list-style-type: none"> 为了使仿真从零速度和零位移开始，设定位移和速度的初始值为零（在






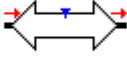
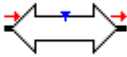
	<p>初始值计算过程中，使用蓝色别针按钮来定住相应的初始值）。</p> <div data-bbox="542 179 1327 295"> <p>Initial Displacement x0: <input type="text" value="0"/>  m</p> <p>Initial Velocity v0: <input type="text" value="0"/>  km/h</p> </div> <p>•激活结果数值“速度”和“加速度”的输出协议属性，并设定速度度量单位为 km/h</p> <div data-bbox="542 380 1316 492"> <p>Velocity v:  km/h</p> <p>Acceleration a:  m/s²</p> </div>
<p>AirDrag 空气阻力</p> 	<p>•当汽车移动时，观测两个重要的阻力：空气阻力和滚动阻力。空气阻力按下式计算：</p> $F_D = C_d * A * \frac{\rho * v^2}{2}$ <p>$C_d = 0.31$ - 空气阻力系数，$A = 2.2m^2$ - 汽车横截面积</p> <p>$\rho = 1.199 \frac{kg}{m^3}$ - 空气密度，v - 汽车速度</p> <p>根据上面的公式可以直接输入阻力参数。为了得到空气阻力计算所需要的速度，利用一个特殊的索引属性。SimulationX 提供运动状态变量（位移、速度、加速度）与其他系统参数或者变量一样，你可以获得他们利用相应的元件名称加“.”。在范例模型中，当输入数值时，我们使用速度 CarMass.v，注意：所有的变量都必须按照 SI 基本单位制给定。</p> <div data-bbox="542 1019 1391 1142"> <p>Force F: <input type="text" value="1*2.2*1.199*CarMass.v^2"/> N</p> <p>0.31*2.2*1.199*CarMass.v^2/2</p> </div>
<p>RollingFriction 滚动摩擦</p> 	<p>•行驶阻力的第二个来源是滚动阻力，滚动阻力在汽车速度的很大变化范围内基本不变化。滚动阻力按照下式计算：</p> $F_R = \gamma_R * m * g$ <p>$\gamma_R = 0.01$ - 滚动阻力系数（沥青路）</p> <p>$m = 1400kg$ - 汽车质量</p> <p>$g = 9.80665 \frac{m}{s^2}$ - 重力加速度</p> <p>按照 SI 基本单位制，我们必须重新输入所有的变量。</p> <div data-bbox="542 1541 1316 1597"> <p>Force F: <input type="text" value="0.01*CarMass.m*9.80665"/> N</p> </div>

Table 1: Parameter input

表 4: 参数输入

在该状态下保存模型，以保证在第二章您可重新使用它。我们现在可以进行车辆加速过程测试。打开结果窗口获取离合器摩擦情况、汽车质量速度、车体加速度。设定仿真时间为 5s，按“开始”进行仿真。

曲线图如图 4 图 5 所示

此刻曲线在 4 个窗口所展示，为了获得曲线的联合显示图，请点住图表中曲线带颜色的标识（图表右上角），拖入到目的窗口（另一曲线图），再放开鼠标键即可。

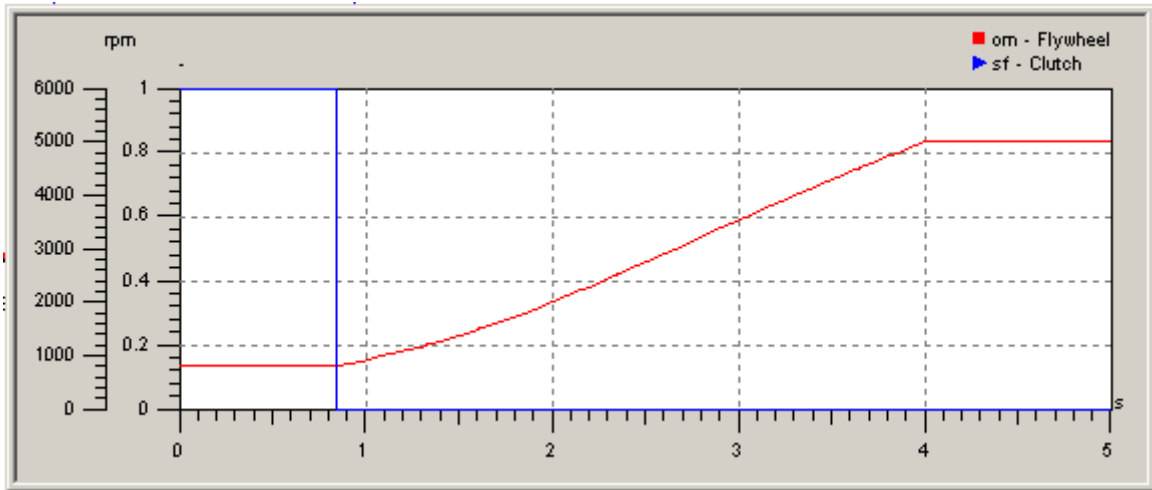


图 4：离合器状态和发动机速度

发动机速度恒定不变直到离合器彻底闭合。因为滑动扭矩应该尽可能的与初始发动机扭矩一样大，通过滑动离合器来加速汽车能充分利用发动机的扭矩，从而发动机保持在一个恒定速度上。离合器啮合后，汽车才开始加速直到发动机达到最高速度。

图 5 显示了汽车速度从 0 加到 50 km/h 的加速过程。在最初阶段离合器滑移，汽车以一个恒定加速度加速。离合闭合后由于汽车质量与飞轮惯性，加速度有所下降。当引擎达到最高速时加速停止。

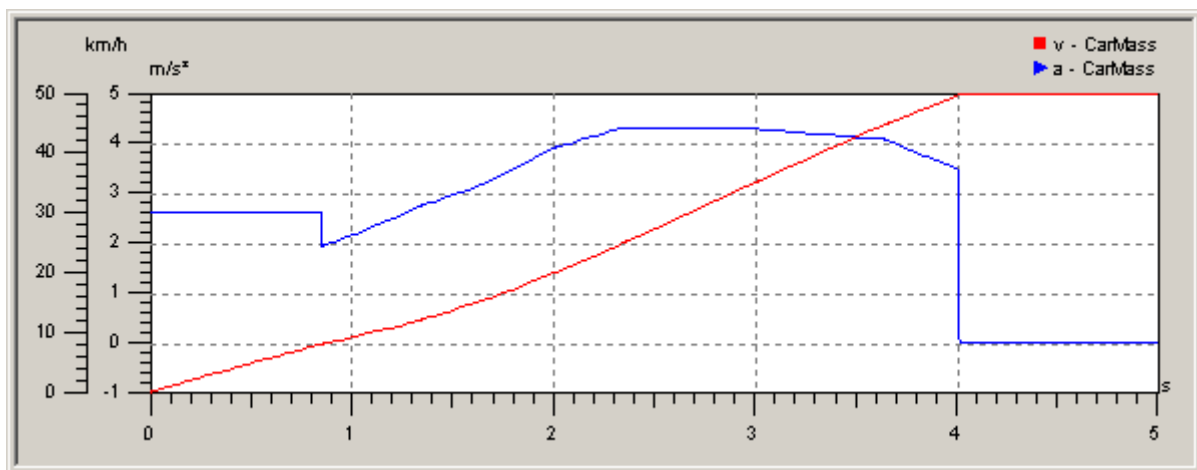


图 5：汽车速度和加速度

下面我们在高速档位来观察加速过程。由于在现实生活中只有在汽车高速运行时才选择高速档位，所以汽车的初速度必须给定。为了仿真加速度，改变以下参数：

模型对象	参数输入
变速箱 	<ul style="list-style-type: none"> 现在假设存在一个变速器在第 4 档时齿轮齿数比为 0.97 <div> Gear Ratio om2/om1 i_21: <input type="text" value="0.97"/> </div>
汽车质量 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车以 100 km/h 的速度下运行仿真—不要忘记转换度量单位。 <div> Initial Velocity v0: <input type="text" value="100"/> <input type="text" value="km/h"/> </div>

表 6: 参数变化

现在重启仿真，设定仿真“停止时间”为 30S,选择“开始”再次开始仿真。

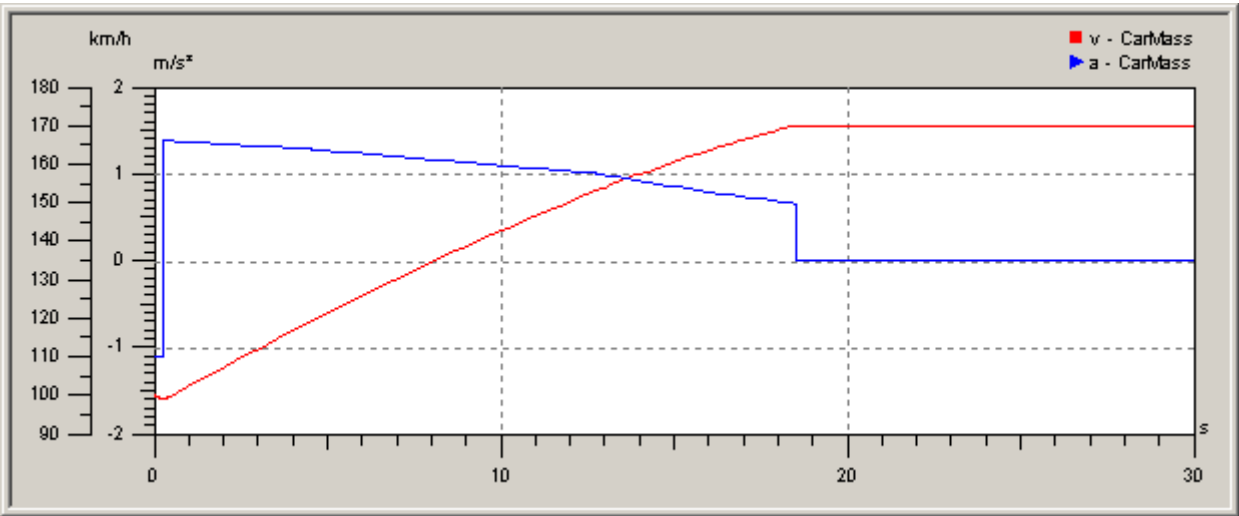



图 6: 汽车速度和加速度

我们知道，该加速度要比第一个例子中用低档加速的加速度低。一旦达到了该档位的最高速度（这里为 170 km/h），加速停止。

开始前，选择结果窗口中工具栏里面的  键冻结速度和加速曲线。

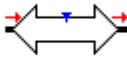
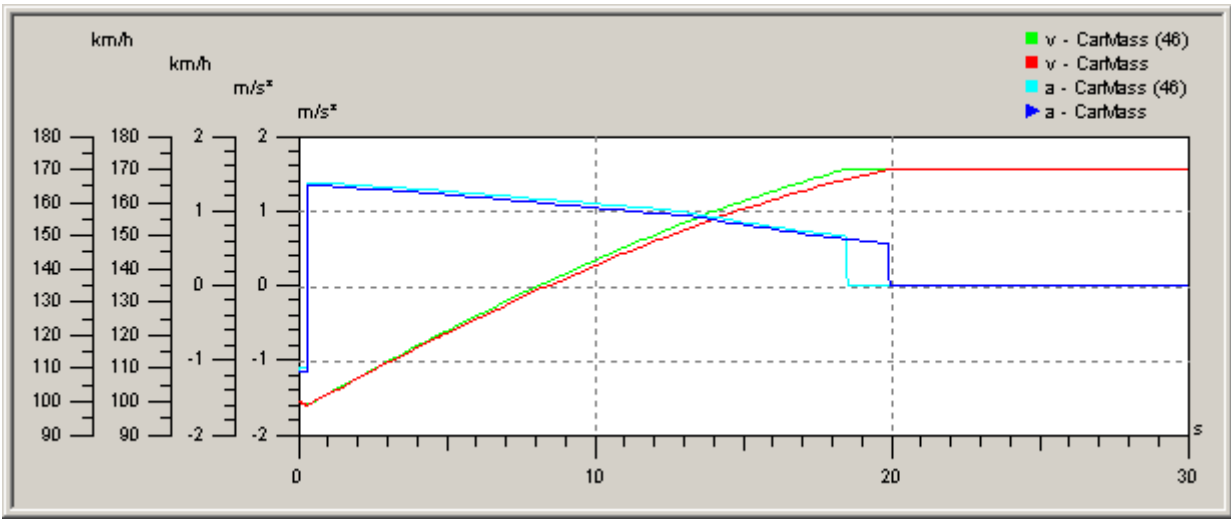
模型对象	参数输入
驱动阻力 (空气阻力) 	<ul style="list-style-type: none">•将空气阻力系数变成一个较高的值。下面的例子中空气阻力系数为 0.36。 <div><div>Force</div><div>F: <input type="text" value="0.36*2.2*1.193*CarMass."/></div><div>N</div></div>

表 7: 空气阻力增加

重新开始仿真后，你可以观察到不断增强的空气阻力对车体的冲击，加速度稍低，汽车差不多在 2 秒后达到最高速度。



Figur 图 7: 不同的空气阻力系数对比

第 2 部分：仿真变速箱噪音

该指南第二部分使我们的注意力集中到一些更为具体的问题——变速箱噪音分析。变速箱噪音分为两类：

- 轮齿的咔咔声
- 负载情况下变速箱轮齿的呜呜声

进一步的研究要求模型加入更多的细节。首先需要更换一个发动机模型，汽缸的扭矩在压缩和燃烧时的变化引起了发动机旋转的失衡造成了变速箱发出噪声。对于变速箱噪声，你需要一个变速机构模型，这个模型需要考虑齿间隙（引发咔咔声）、齿轮接触刚度和齿轮啮合（变速箱工作时齿轮高频率啮合时发出呜呜声）。

1. 轮齿咔咔声仿真

打开在第一章保存的模型，替换掉某些模型组件。开始启动前关掉结果窗口使工作界面更为整洁。首先重启模型并对模型进行编辑。重新整理原模型（图 3 所示），得到如图 8 所示的新模型。假定变速箱为单级变速箱（即变速箱输出和输入轴之间只有一个齿轮齿数比）前轮驱动汽车用的就是单级变速箱。

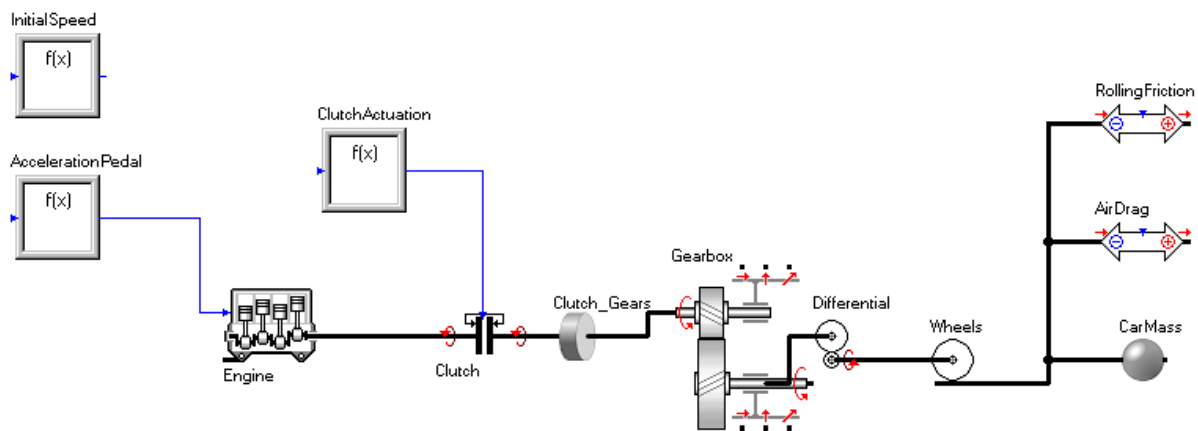

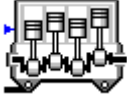

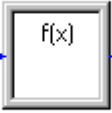
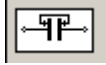



图 8：精练传动系统模型

下列为出现在模型中的新元件

Number of Elements 元件的序号	Library name 学科库名称	对象名称 功能	符号
1	Power Transmission/ Motors and Engines 动力传动/电机和发动机	燃烧发动机  发动机模型描述了汽缸燃烧过程的影响，每缸输出扭矩通过典型的规范化功能块来提供	
2	Signal Blocks 信号模块	$f(x)$  将加速踏板和离合器踏板信号反馈到发动机和离合器	
1	Power Transmission/ Couplings and Clutches 动力传动/耦合器和离合器	盘式离合器  踏板操控单圆盘干式离合器	




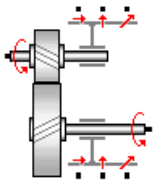
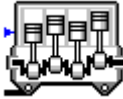


1	Mechanics/ Rotational Mechanics 力学/ 旋转力学	惯量  离合器圆盘和变速箱输入的惯量，连接离合器和变速箱两个元件的辅助元件	
1	Power Transmission/ Transmission Elements 动力传动/传动元件	齿轮  一个齿轮的详细模型包括刚度、阻尼和齿间隙	

表 8：新元件

你可以对新对象重新命名，最后它们按图 8 所示的名称命名。

照常，模型必须被参数化——新组件和已有组件都要被调整和修改，所需做的修改如下表所示：

模型元件	参数输入
<div>Engine 发动机</div> <div></div>	<div><p>•对发动机参数化，你需要知道额定功率，额定速度和汽缸的数量。额定值出现在发动机最大功率输出点。利用先前已用过的扭矩特性，通过发动机速度和扭矩相乘，你可简单能计算出功率曲线。</p><p>注意：在计算前，不要忘记转换发动机速度单位为 rad/s</p><p>观测到当发动机转速达到 4500 rpm 时最大功率输出大约是 99 kW。发动机为 4 缸，在参数对话框 1 中输入：</p><div><div>Injectioninj:AccelerationPedal.F-</div><div>Nominal PowerPn:99kW</div><div>Nominal Speedomn:4500rpm</div><div>No. of Cylindersnz:4-</div></div><p>注意：在一个简单的模型中，对于发动机转速控制，5000 rpm 的限制是一个任意的假设，而这里使用的发动机元件可以达到更高的转速。为了达到相同的特性，发动机模型执行一个最高的速度控制。在最后的結果中，以上被执行的试验并非必要，所以可以省略。</p><p>参数对话框 2：</p><p>• 设定发动机扭矩为 0.35 kgm²（飞轮之前）</p><div><div>InertiaJ:0.35kgm²</div><p>• 链接初速度到“InitialSpeed.F”</p><div><div>Initial Speedom0:InitialSpeed.Frad/s</div></div></div></div>
<div>加速踏板</div> <div></div>	<div><p>通过一个 0（没有加速度信号）和 1（最大加速度信号）规范化信号来控制发动机元件行为。使用最大加速度来执行此试验，也就是，在参数对话框中输入 a1。</p><div><div>Function f(x)F:1-</div></div></div>
<div>离合器</div>	<div>对于离合器参数化，你选择轿车离合器的典型值，这个值与发动机扭矩输出</div>



相匹配。离合器是一个单圆盘干式离合器，也就是有两个摩擦表面。合理设置其它离合器参数：

– 外部直径：220 mm

– 内部直径：130 mm

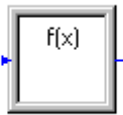
– 静摩擦值：0.8（这个值比典型值高，但是一旦离合器闭合，在扭矩峰值时我们不想让离合器滑移）

– 滑动摩擦值：施加压力：8000 N

在参数窗口显示的其它值都是他们的缺省设置。在“参数”窗口区设定参数。

Switching Signal	sw:	ClutchActuation.F	-
Friction Surface Outer Dia.	da:	220	mm
Friction Surface Inner Dia.	di:	130	mm
Disk Thickness	dt:	2	mm
No. of Friction Surfaces	ns:	2	-
Static Friction Coefficient	my0:	0.8	-
Sliding Friction Coefficient	my:	0.2	-
Press-On Force	Fp:	8000	N
Force Buildup Time	tu:	0.2	s
Friction Materials	kindM:	steel - sintered bronze	

ClutchActuation
离合器执行器



和发动机一样，通过一个规范化信号来对离合器进行控制——0 为分开；1 为闭合。如果信号从 0 改变到 1，离合器自动地关闭，通过设定离合器参数“力啮合时间”来控制它（设定为缺省）。在离合器闭合之前，为了让发动机转到一定速度，需要在 0.1 秒后给执行器信号。执行这一操作最简单的方法是一个逻辑表达式的开发。表达式：if t>0.1 then 1 else 0，那么信号被定义为：在 0.1 秒时其值从 0 转变到 1。在信号模块的参数对话框中输入这个参数。

Function f(x)	F:	if t>0.1's'then 1 else 0	-
---------------	----	--------------------------	---

Clutch_Gears
离合器_齿轮



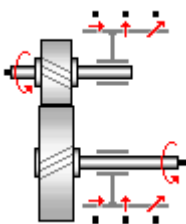
• 设定参数“转动惯量”为 0.01 kgm²（表示的是离合器圆盘和发动机一侧的变速箱部分，）

Moment of Inertia	J:	0.01	kgm ²
-------------------	----	------	------------------

• 校验“初速度”，设定为零：

Initial Rotational Speed	om0:	0	rad/s
--------------------------	------	---	-------

Gearbox
变速器



• 在这个模型对象中，你能设定多个参数以得到多种选择来设定刚度、阻尼、和齿啮合情况。在我们的简单模型中，除了两个轮齿的齿数和齿间隙之外，让其他所有参数保留其缺省值。选择的齿数所产生的齿轮齿数比和在指南的第一部分中的一挡模型中所产生的齿轮齿数比是完全一样的。

– 齿轮 1 的齿数为：25

– 齿轮 2 的齿数为：83

此外，指定齿间隙为 0.1 mm



	<div> <div> Normal Modulus mn: 3 mm Tooth Width bw: 15 mm Helix Angle beta: 0 ° Rotary Backlash jt: 0.1 mm No. of Teeth, Wheel 1 z1: 25 - No. of Teeth, Wheel 2 z2: 83 - Pressure Angle alphan: 20 ° </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> •确定：“考虑刚度变化”未选。在后面的试验中我们将用到这个选项。 •现在，打开参数窗口的“结果”对话框，激活齿轮表面的法向力输出属性 <div> Normal Force, Left Toot... Fbnl: <input checked="" type="checkbox"/> N Normal Force, Right To... Fbnr: <input checked="" type="checkbox"/> N </div> </div> </div>
Differential 差速器 	<ul style="list-style-type: none"> •细化的变速箱特性更像一组真实的齿轮，因此，输入轴与输出轴以相反的方向旋转，在简单的汽车模型中情况却不是这样的，也就是，具有新设置的汽车实际上将反向运动。因为空气阻力和滚动阻力只能阻止汽车向前行驶，所以旋转的反方向必须得到补偿。通过改变差速器齿轮齿数比的正负号这很容易实现。 <div> Gear Ratio om2/om1 i_21: -4 - </div>
CarMass 汽车质量 	<ul style="list-style-type: none"> •确定汽车的初速度重新设置为零（在前面的模型中初速度可能为其它的数值。） <div> Initial Displacement x0: 0 m Initial Velocity v0: 0 km/h </div> <div> 激活速度和加速度输出属性 </div> <div> Velocity v: <input checked="" type="checkbox"/> km/h Acceleration a: <input checked="" type="checkbox"/> m/s² </div>

表 9：模型元件参数输入

现在准备开始运行仿真，之前设定仿真结束时间为 5 秒、“最小输出步长...”为 0.0001 秒。这样能保证高频率组结果正常显示。

打开结果窗口查询发动机转速和变速箱轮齿啮合力。运行仿真后，你将在图 9 和 10 中观测到仿真结果。

我们可以清楚地看见，直到离合器开始闭合，发动机速度最先升高，速度再次降低直至离合完全闭合，此时由于离合传送的摩擦扭矩，所以汽车开始运动。一旦离合器完全闭合，所有装置开始加速。观测轮齿啮合力，右边和左边的轮齿界面都有一个法向力。由于变速箱中轮齿有齿间隙，致使齿轮发出咔咔声。离合器闭合后，转速大概达到 2700 rpm 时系统出现共振，齿轮开始发出咔咔声。当发动机速度高于 3300 rpm，咔咔声停止。

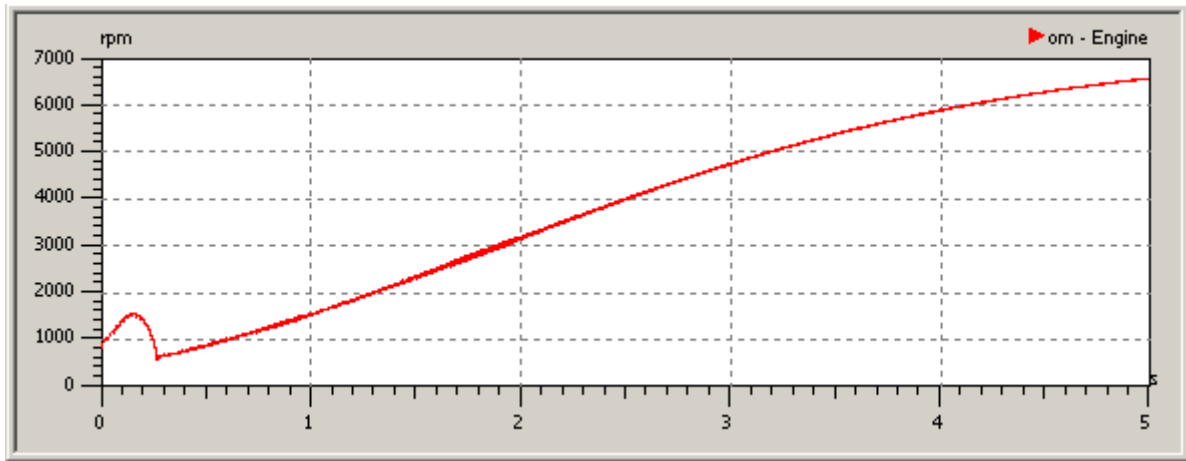


图 9: 飞轮速度

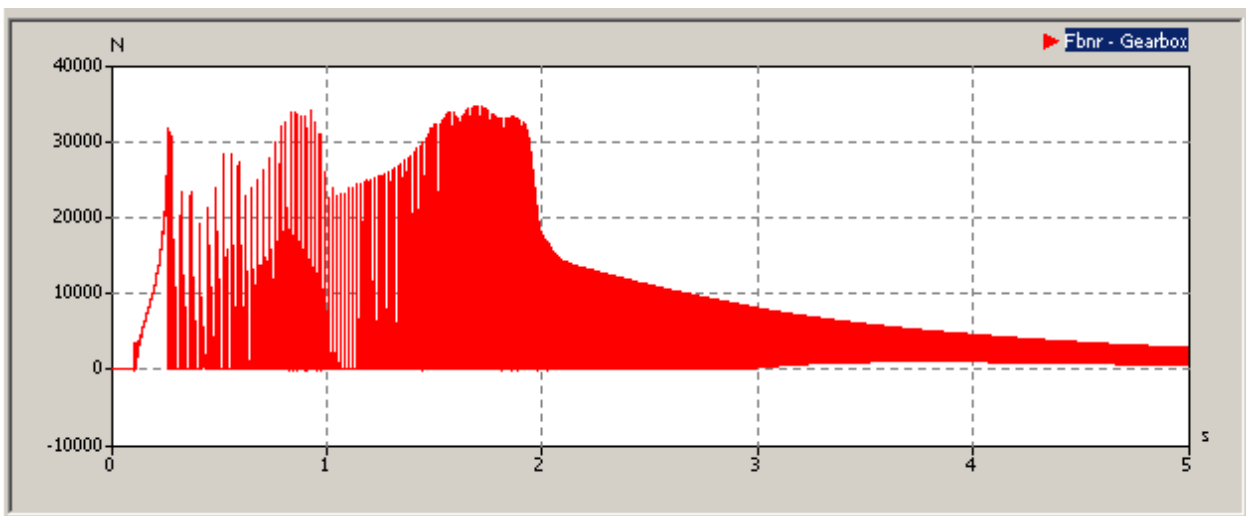


图 10: 右侧轮齿界面的法向力（驱动侧）

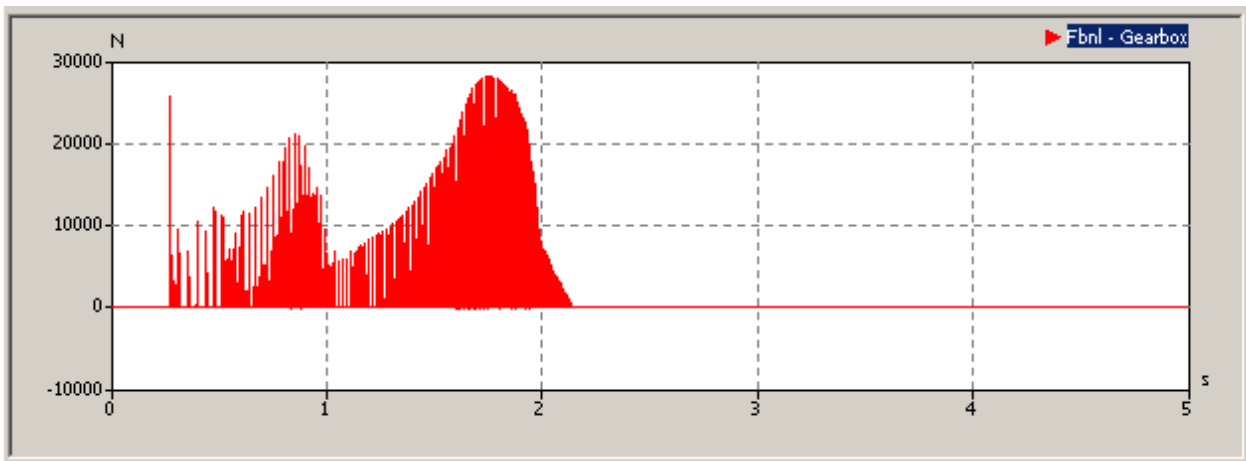


图 11: 左侧轮齿界面的法向力

现在我们更进一步观察发出咔咔声的过程。两个力联合显示。在下一个扩大窗口中你能观测到共振区域。你可以点击放大镜来放大你想观测的区域，或选择“设置”窗口，进入“X-axis”窗口，取消选定项“自动缩放比例”，输入最小值 1.8 s 和最大值 1.83 s，设定“Ticks”的数量为 3。现在你观测的曲线如图 12 所示。显然，齿轮是间歇地相互接触的（也就是说这里有一个法向力）。在两个齿轮之间，齿轮彼此啮合旋转有一个固定的周期，并且在没有相互接触时是不存在法向力的。

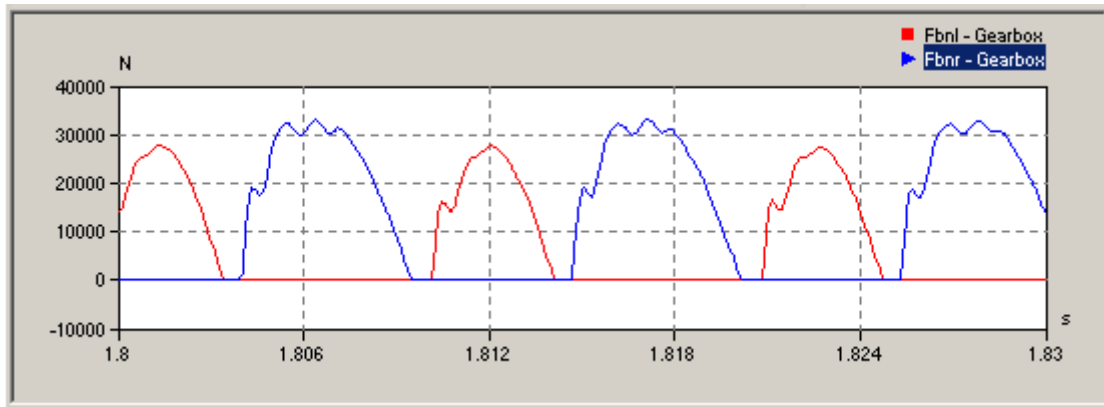


图 12: 在更高分辨率下的法向力，观测轮齿的咔咔声

观察力信号（峰值间隔为 11ms）时，我们不难发现轮齿咔咔声的原因。因为四缸发动机中，每一个循环都有两次点火。转速约 2800 rpm 时，这种冲击出现在频率为 93 Hz 处，因此，冲击间隔为 11ms。

通过在图例中选择期望曲线（带三角标记），你能测量曲线上的点。点击鼠标左键不放，出现一十字坐标与鼠标指示器有同样的 x 坐标，将其放入曲线图。当前点的坐标显示在工具栏中，移动鼠标即得到曲线上其他点的坐标。

这里列举了一个不希望的变速箱特性的例子。在用 SimulationX 设计的汽车中我们要及早发现类似问题以期获得合适的解决方案。

2. 变速箱噪声分析

现在对变速箱做出调整，使我们能观察变速箱的另外一种噪音呜呜声——它是因齿轮啮合而发出的噪声。为了执行这个仿真，我们只需改动一个参数，而模型的其余部分保持不变。

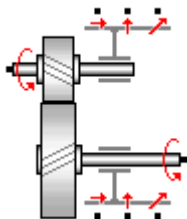
元件	参数输入
Gearbox 变速箱 	<ul style="list-style-type: none"> 在参数对话框中选中“考虑刚度变化”栏。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <input checked="" type="checkbox"/> Consideration of Stiffness Change </div> <p>依靠实际啮合齿数和接合程度来确定一个刚度。这个刚度是随着齿轮啮合频率和传动系统中振动激励的变化成周期变化的。</p>

表 10: 在变速箱参数对话框中“自定义”变化

这个仿真要求我们沿着力的方向来标度输出窗口（应用在我们图 12 中），在“设置”的‘y 轴’中取消“自动标度”功能，把最大力改为 60000 N，相应地，把“Ticks”中的数字改为 7。

现在重启并再次运行仿真。片刻之后我们会看见设定时间间隔的力曲线出现在结果窗口。这个结果如图 13 所示。

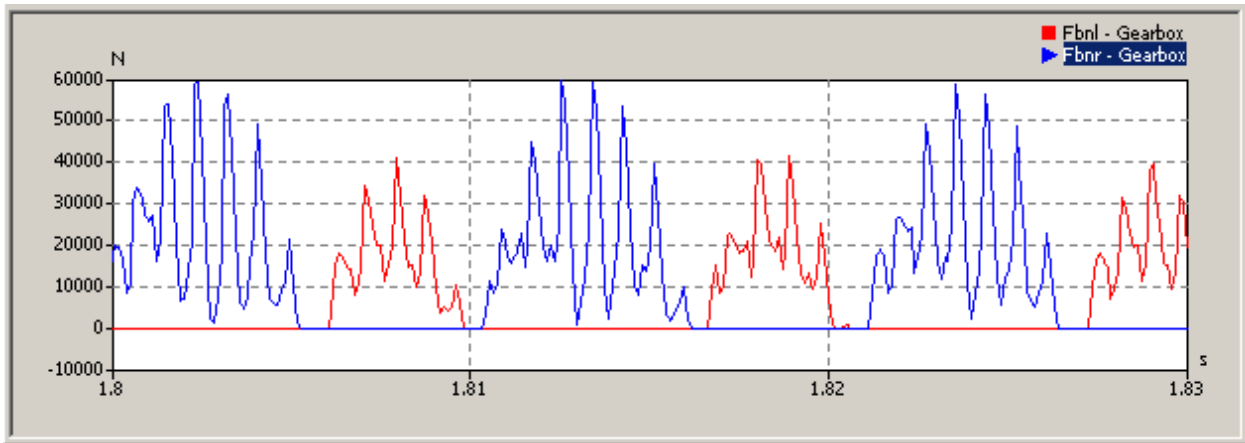


图 13: 在更高分辨率下的法向力引起轮齿的咔咔声和呜呜声

显然，这里存在着一个更高频率成分。测量相邻的两个峰值我们可以发现该固有频率大约为 **0.85 ms**，即 **1.18 kHz**。为了确定是齿轮啮合发出的这种噪音，你可以计算一下齿轮啮合频率，发动机旋转一周为 **25 个轮齿**。得出发动机转速为 **2800 rpm**，频率约是 **1.18 kHz**。

结论

现在您可以自如地使用仿真模型、更改参数或扩展模型填充内容来进行仿真试验。包括在传动系统中不同轴的惯性、钢性、减震，或轮胎特性的描述，或更详细的反映惯性、钢性、曲轴减震、活塞惯性力和燃烧过程模型。你可通过 **TypeDesigner** 建立更多精巧的元件，如传动轴或详细的汽缸与发动机模型，并把它们添加到 **SimulationX** 相应库的类型收藏夹中。所以您可以根据自己仿真和分析任务的需要来建立更为详细的模型。让我们来总结一下在该指南中我们所学到的知识：

- 我们学会了在各种仿真目标下怎样构建汽车与传动系统模型。较复杂的模型元件通常都有一套缺省的模型参数，这些参数一般可以不做更改。不过参数必须是正确的，以保证模型精确地仿真。
- 我们学会了用几种方法来参数化模型——不仅用数字，还使用了数学公式和逻辑表达式。同时，我们还学会了参考相关量来获取变量和参数。
- 我们学会了用信号模块来产生多次使用的变量，如几个对象的公共参数。我们也学会了给信号指定物理意义和单位。
- 随着模型复杂性的增加，模型需要不断添加更多的细节。每一个仿真都需要周全的考虑。增加模型的复杂性将加长模型的仿真时间，所以构建的模型只需能很好的仿真实情况就足够了。
- **SimulationX** 是一种很直观的系统仿真工具，依靠它多域模型（例：力学与控制系统）能很快地被建立起来。
- **SimulationX** 面向对象的方法允许你修改给定的模型结构，并能快速的适应新任务和其技术要求。
- **SimulationX** 模型能清晰地反映当前物理系统的结构，所以实际情况中的问题在 **SimulationX** 模型上清晰可见。