

# LiveLink™ *for* Simulink®

## 简介

# LiveLink™ *for* Simulink® 简介

© 2009-2020 COMSOL 版权所有

受列于 [cn.comsol.com/patents](http://cn.comsol.com/patents) 的美国专利 7,519,518、7,596,474、7,623,991、8,457,932、9,098,106、9,146,652、9,323,503、9,372,673、9,454,625、10,019,544、10,650,177 和 10,776,541 保护。专利申请中。

本文档和本文所述的程序根据《COMSOL 软件许可协议》([cn.comsol.com/comsol-license-agreement](http://cn.comsol.com/comsol-license-agreement)) 提供，且仅能按照许可协议的条款进行使用或复制。

COMSOL、COMSOL 徽标、COMSOL Multiphysics、COMSOL Desktop、COMSOL Compiler、COMSOL Server 和 LiveLink 为 COMSOL AB 的注册商标或商标。MATLAB 和 Simulink 是 The MathWorks, Inc. 的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产，COMSOL AB 及其子公司和产品不与上述非 COMSOL 商标所有者相关联，亦不由其担保、赞助或支持。相关商标所有者的列表请参见 [cn.comsol.com/trademarks](http://cn.comsol.com/trademarks)。

版本：COMSOL 5.6

## 联系信息

请访问“联系我们”页面 [cn.comsol.com/contact](http://cn.comsol.com/contact)，以提交一般查询、联系技术支持或搜索我们的联系地址和电话号码。您也可以访问全球销售办事处页面 [cn.comsol.com/contact/offices](http://cn.comsol.com/contact/offices)，获取更多地址和联系信息。

如需联系技术支持，请访问 COMSOL Access 页面 [cn.comsol.com/support/case](http://cn.comsol.com/support/case)，创建并提交在线请求表单。其他常用链接包括：

- 技术支持中心：[cn.comsol.com/support](http://cn.comsol.com/support)
- 产品下载：[cn.comsol.com/product-download](http://cn.comsol.com/product-download)
- 产品更新：[cn.comsol.com/support/updates](http://cn.comsol.com/support/updates)
- COMSOL 博客：[cn.comsol.com/blogs](http://cn.comsol.com/blogs)
- 用户论坛：[cn.comsol.com/community](http://cn.comsol.com/community)
- 活动：[cn.comsol.com/events](http://cn.comsol.com/events)
- COMSOL 视频中心：[cn.comsol.com/video](http://cn.comsol.com/video)
- 技术支持知识库：[cn.comsol.com/support/knowledgebase](http://cn.comsol.com/support/knowledgebase)

文档编号：CM020010

# 目录

---

简介.....	4
启动 COMSOL Multiphysics® with Simulink® .....	5
完整示例：热执行器的开关控制.....	6



## 简介

---

LiveLink™ for Simulink® 用于将 COMSOL Multiphysics® 与 Simulink 环境进行连接。通过使用此功能，您可以执行以下操作：

- 结合使用 COMSOL 模型与 Simulink 图，执行协同仿真。
- 基于 COMSOL 模型导出状态空间模型。这些模型是基于 COMSOL 模型总自由度 (DOF) 数的线性化模型。
- 在 Simulink 图中将 COMSOL 模型作为状态空间系统运行。这些状态空间模型是使用总自由度数或模态降阶的线性化模型。
- 此外，您还可以按常规方式使用 COMSOL 和 Simulink 来建立其他类型的模型，例如，基于 Simulink 中的查找表进行建模。

本指南中的各个示例将引导您完成 COMSOL 模型的建立过程，并说明如何在 Simulink 仿真环境中使用 COMSOL Multiphysics。

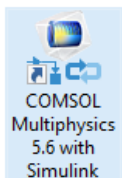
# 启动 COMSOL Multiphysics® with Simulink®

---

## 在 Windows® 上启动

---

您可以双击桌面上的 COMSOL Multiphysics 5.6 with Simulink 图标来启动 COMSOL Multiphysics with Simulink。



此操作将同时打开 MATLAB 桌面和 COMSOL Multiphysics Server，后者以命令窗口的形式显示在背景中。

## 在 Mac OS X 上启动

---

导航至“应用程序 > COMSOL 5.6 > COMSOL Multiphysics 5.6 with Simulink”。

## 在 Linux® 上启动

---

启动终端提示窗口并运行 `comsol` 命令，该命令位于 COMSOL 安装目录的 `bin` 文件夹中：

```
comsol mphserver simulink
```

# 完整示例：热执行器的开关控制

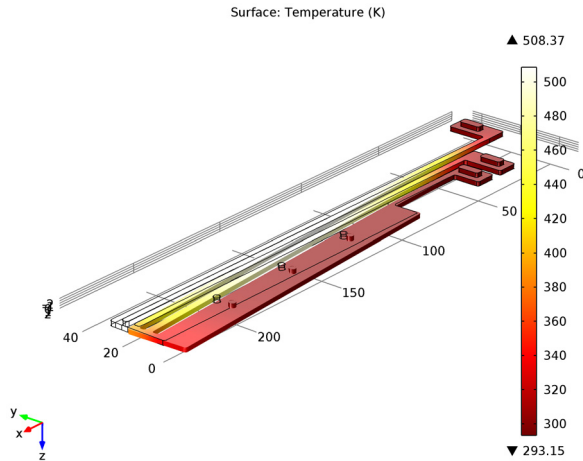
通过学习本教程，您将熟悉在 COMSOL 模型与 Simulink 图之间建立协同仿真的工作流程。

在本节中，您将学习如何：

- 准备 COMSOL 模型用于协同仿真
- 导出协同仿真文件
- 在 Simulink 图中包含 COMSOL Cosimulation 块
- 运行协同仿真
- 在仿真后处理 COMSOL 模型

本例以 COMSOL Multiphysics 案例库中“热微执行器的简化模型”的修改版本为基础，分析微执行器的电热变形。

该模型由多晶硅制成的双热臂热执行器组成，执行器由热膨胀驱动。其中通过焦耳热（电阻热）实现温升，以使两个热臂变形，从而使执行器发生位移。与冷臂相比，热臂的膨胀程度更大，从而导致执行器弯曲。




变形后的微执行器的温度分布。

原始模型的研究重点是得到因电阻（焦耳）热引起的执行器变形的稳态解。在本教程中，我们将修改模型，使其包含动力学效应，并控制外加电流，从而将执行器的挠度保持在设定的限制内。



**注：**下面的分步操作说明需要按顺序执行，跳过任何部分都可能会导致数据无法用于后续部分。我们将从建立 COMSOL 模型用于协同仿真开始，依次执行各部分的操作，直到最后的在协同仿真后处理模型。

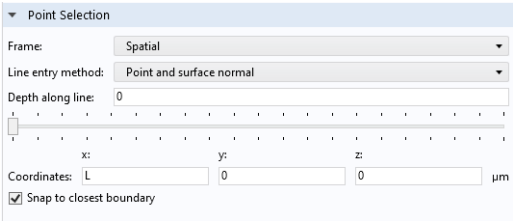
## 建立 COMSOL 模型用于协同仿真

从 COMSOL Multiphysics “案例库” 中加载热微执行器的简化模型。

- 1 如果尚未打开，您可以启动一个新的 COMSOL Desktop。从 “文件” 工具栏中，选择 “案例库” (  )。
- 2 在 “案例库” 窗口中，选择 “COMSOL Multiphysics > 多物理场 > thermal\_actuator\_simplified”，然后单击 “打开 App”。

首先，我们设置一个探针来计算执行器尖端的位移，然后创建一个最大算子来获取最高温度。在配置协同仿真时，您需要将这些参数设置为输出，使其在协同仿真过程中传递给 Simulink。

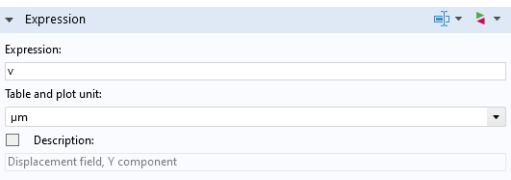
- 3 在 “定义” 工具栏中，单击 “探针”  并选择 “域点探针” 。




- 4 定位到 “域点探针” 的 “设置” 窗口，在 “点选择” 栏下的 “坐标” 行中，将 x 设置为 L。

- 5 选中 “捕捉到最近边界” 复选框。

- 6 在 “模型开发器” 窗口中，展开 “域点探针 1” 节点并单击 “点探针表达式 1 (ppbb1)”。



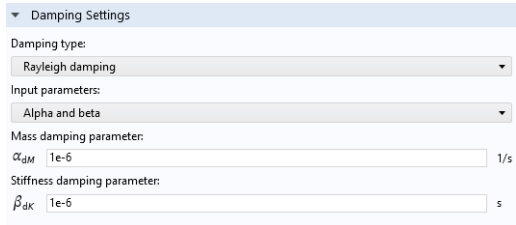
- 7 定位到 “点探针表达式” 的 “设置” 窗口，在 “表达式” 文本框中键入 v。


- 8 在 “定义” 工具栏中单击 “非局部耦合” ，然后选择 “最大值” MAX。





- 9 在“最大值”的“设置”窗口中，从“选择”列表中选择“所有域”。  
接下来，我们继续在“固体力学”物理场接口中添加结构阻尼。

- 10 在“模型开发器”窗口中，展开“热执行器 (comp1)>固体力学 (solid)”节点，然后单击“线弹性材料 1”。





- 11 在“物理场”工具栏中，单击“属性” 并选择“阻尼”。

- 12 定位到“阻尼”的“设置”窗口，在  $\alpha_{dM}$  和  $\beta_{dM}$  文本框中都输入  $1e-6$ 。  
现在，我们继续设置将用于协同仿真的瞬态研究。

- 13 在“主屏幕”工具栏中，单击“窗口” 并选取“添加研究”.


- 14 在“添加研究”窗口中，找到“研究”子栏。

- 15 在“选择研究”树中，选择“一般研究>瞬态”，然后单击“添加研究”.

- 16 定位到“瞬态”的“设置”窗口，在“输出时步”文本框中键入 `range(0,1e-6,1e-4)`，原因是我们假设 Simulink 中的时间单位是秒。

**注：**由于在运行协同仿真时没有时间单位转换，请确保在 COMSOL 和 Simulink 中使用相同的时间单位。

下面我们继续设置变量的手动缩放，以避免在仿真过程中由于使用开/关控制器而导致的潜在收敛问题。


- 17 在“模型开发器”中，右键单击“研究 2”节点，然后选择“显示默认求解器”.

- 18 展开“解 2>因变量 1”。


- 19 选择“温度 (comp1.T)”节点。在“场”的“设置”窗口中，定位到“缩放”栏，然后将“方法”设置为“手动”。在“比例因子”编辑框中输入 100。

- 20 选择“电势 (comp1.V)”节点。在“场”的“设置”窗口中，定位到“缩放”栏，然后将“方法”设置为“手动”。默认值已经与电压的数量级相对应，因此无需更改该值。

比较好的做法是，确保模型以执行协同仿真时要使用的预期时间间隔、时步和输入参数范围进行求解。

21 在“研究”工具栏中单击“计算”。

现在，模型已准备好进行协同仿真，您只需使用新名称来保存它。

22 从“文件”菜单中选择“另存为”。

23 浏览到合适的文件夹，并输入文件名

`thermal_actuator_llsimulink.mph`，然后单击“保存”。

## 配置和导出协同仿真文件

您可以继续配置协同仿真并导出协同仿真文件，该文件将加载到 Simulink 中。最重要的协同仿真设置包括：

- 在保存模型 MPH 文件时设置的模型名称。
- 输入列表。这些输入是在协同仿真过程中可以通过 Simulink 更新的模型参数。此列表可以保留为空。
- 块参数列表。在初始化协同仿真时，这些模型参数可以通过 Simulink 更新，从而定义初始条件等。此列表可以保留为空。
- 输出列表。这些变量在协同仿真过程中进行计算并返回到 Simulink。您可以定义全局实标量变量的任意表达式。协同仿真至少需要一个输出。
- 用于协同仿真的研究。您可以选择具有单个瞬态或稳态研究步骤的研究节点。

您可以在“模型树”的“全局定义”下添加的 Cosimulation for Simulink 节点中定义协同仿真设置，并可以在模型中添加多个 Cosimulation for Simulink 节点，从而保存不同的协同仿真设置以用于不同的 Simulink 图，等等。

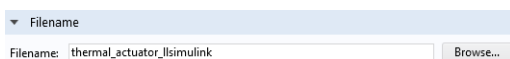
1 在“研究”工具栏中，单击 Cosimulation for Simulink 。

2 定位到 Cosimulation for

Simulink 的“设置”窗口，

在“文件名”栏的“文件名”

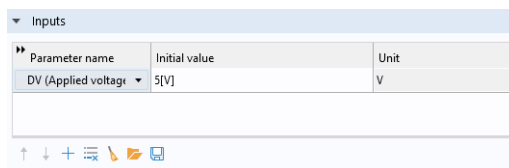
文本框中，键入 `thermal_actuator_llsimulink`。



注：协同仿真文件的名称与模型文件名无关。

3 定位到“输入”栏。单击“添加”+。

4 在“参数名称”列表中，选择“DV (外加电压)”。

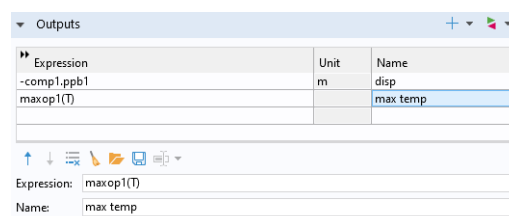


**注：**在协同仿真过程中，输入可能发生变化，因此不允许使用会影响几何或网格的参数。

**注：**由于没有单位转换，请确保模型和 Simulink 中输入的单位相同。

本教程中没有块参数，因此我们继续定义输出：使用“域点探针 (comp1.ppb1)”计算的执行器尖端位移，以及使用 maxop1 算子计算的执行器最高温度。

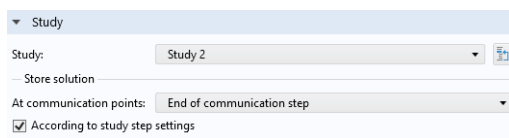
5 在“输出”表第一行的“表达式”列中，输入 -comp1.ppb1，然后在“名称”列中输入 disp。



6 在第二行的“表达式”列中输入 maxop1(T)，然后在“名称”列中输入 max temp。

**注：**通过 COMSOL Cosimulation 块加载协同仿真文件后，您在“名称”列中输入的文本将在块的相应输出中显示。您可以将此列留空。

7 定位到“研究”栏。从“研究”列表中选择“研究 2”，这是您刚才添加到模型中的“瞬态”研究。



**注：**“研究”列表仅包含允许进行协同仿真的“研究”节点。如果该列表为空，请检查模型是否包含具有单个稳态或瞬态研究步骤的研究，并且该研究步骤不包含辅助扫描、载荷工况或自适应。

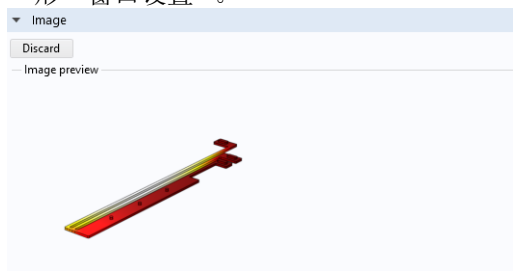
此外，“研究”栏还包含用于在协同仿真过程中将解数据保存到模型中的设置。默认情况下，软件会在每个通信步骤的末尾，以及瞬态求解器设置中指定的任何输出时步存储解。


建立协同仿真的最后一步是，选择要在 COMSOL Cosimulation 块中显示的图像。

8 在“结果”节点下，单击“温度 (ht)”节点以在“图形”窗口中显示温度图。

9 在“全局定义”节点下，单击 Cosimulation for Simulink 节点。

10 在 Cosimulation for Simulink “设置”窗口的“图像”栏中，单击“从‘图形’窗口设置”。



11 要结束协同仿真设置，您可以单击“导出”，将协同仿真文件保存到模型 MPH 文件所在的位置。

导出后，文件名编辑框会显示该协同仿真文件的完整文件路径。

12 从“文件”菜单中选择“保存”以保存模型，然后关闭 COMSOL Multiphysics。

接下来，您将在 Simulink 中加载这个协同仿真文件并运行仿真。

## 添加 COMSOL Cosimulation 块

---

1 按照启动 COMSOL Multiphysics® with Simulink® 中的描述，启动 COMSOL with Simulink。

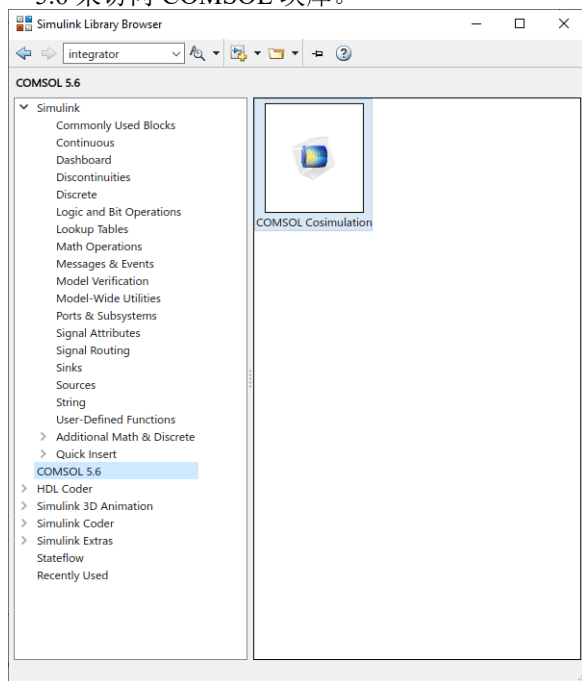
这将启动 COMSOL Multiphysics Server 和 MATLAB 命令行窗口，其中显示 LiveLink for Simulink 欢迎消息。

2 在 MATLAB 的“主页”工具栏中，单击 Simulink 按钮以启动 Simulink 环境。

- 3 在 Simulink Start Page 窗口中，定位到 Blank Model（空模型）栏，然后单击 Create Model（创建模型）。

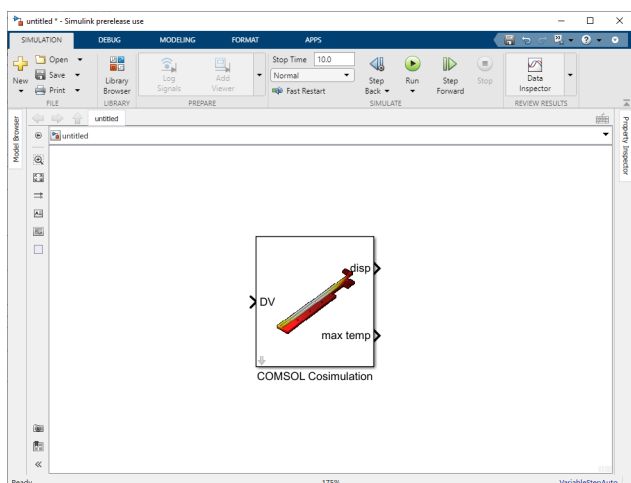
接下来，我们继续在图中添加 COMSOL Cosimulation 块。

- 4 在 Simulink 的 Simulation（仿真）工具栏中，单击 Library Browser（库浏览器）。
- 5 在 Simulink Library Browser（库浏览器）窗口中，从左侧列表中选择 COMSOL 5.6 来访问 COMSOL 块库。



- 6 将 COMSOL Cosimulation 块拖放到 Simulink 图中。
- 7 双击 COMSOL Cosimulation 块以访问块设置。
- 8 在“块参数：COMSOL 仿真”窗口的“文件名”编辑框中，输入在配置和导出协同仿真文件一节中创建的协同仿真文件的完整文件路径。
- 9 在 Communication step size（通信步长）框中输入：5e-6。这意味着 COMSOL 和 Simulink 将每 5  $\mu$ s 通信一次。

10 单击“确定”。

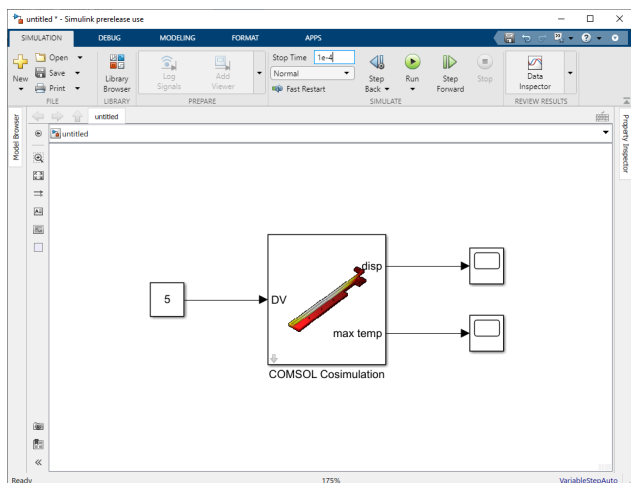


块现在会根据协同仿真文件设置进行更新。在这里，我们可以识别单个输入参数 DV，以及两个名为 disp 和 max temp 的输出。

11 在 Simulink 图中，添加一个 Constant（常数）块并设置为 5，然后将其连接到 COMSOL Cosimulation 块输入。这会将输入电压设为 5 V。

12 现在，我们为这两个输出添加显示器，以便您监控尖端位移和最高温度。

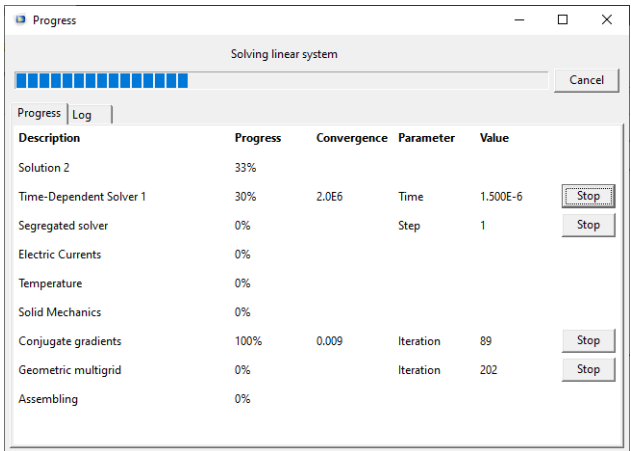
13 在“停止时间”编辑框中输入  $1e-4$ ，可以将仿真时间设置为 10 ms。该图现在应如下所示：



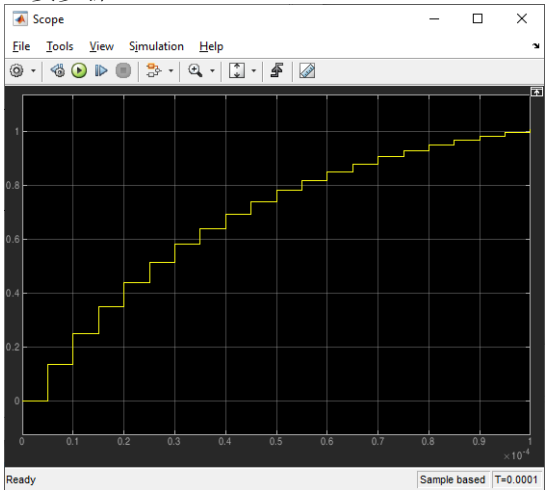
# 运行协同仿真

1 在 Simulation 工具栏中，单击 Run（运行）以启动仿真。

很快，软件会加载并初始化模型，然后将开始仿真。您可以在 Simulink 中通过进度条和查看显示器更新来监控进度。在 Windows® 和 Linux® 操作系统中，您可以在显示的求解器进度条中监控 COMSOL 中每个通信步骤的进度。



下图中的显示器显示了位移（单位：微米）。由于通信时步设置为 5e-6 秒，曲线看上去呈阶梯状。选择通信步长以获得合理的精度是建模过程的一个重要步骤。



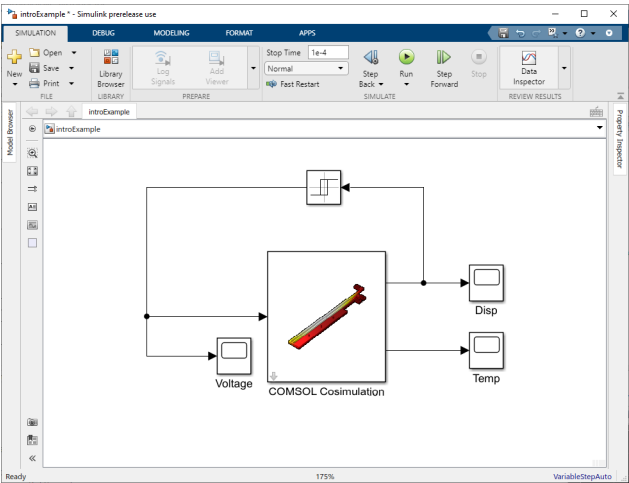
现在，我们用开 / 关控制器来代替恒定电压，使尖端位移保持在  $0.71\text{ }\mu\text{m}$  与  $0.81\text{ }\mu\text{m}$  之间。

- 2 从 Simulink 图中删除 Constant 块。
- 3 添加 Relay （继电器）块，并设置以下参数：

参数	值
Switch on point	0.81
Switch off point	0.79
Output when on	0
Output when off	5

- 4 现在，将 COMSOL Cosimulation 块输出端口 1(displacement) 链接到 Relay 块输入端口，并将 Relay 块输出端口链接到 COMSOL Cosimulation 块输入端口。
- 5 最后，添加一个显示器来显示 Relay 块输出端口。

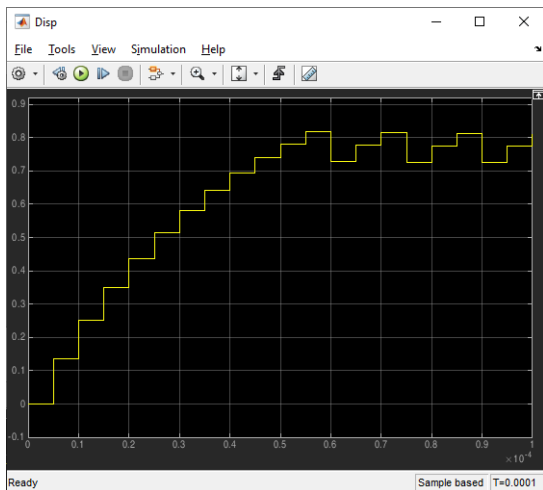
此外，您还可以更改显示器的名称，使 Simulink 图如下所示。



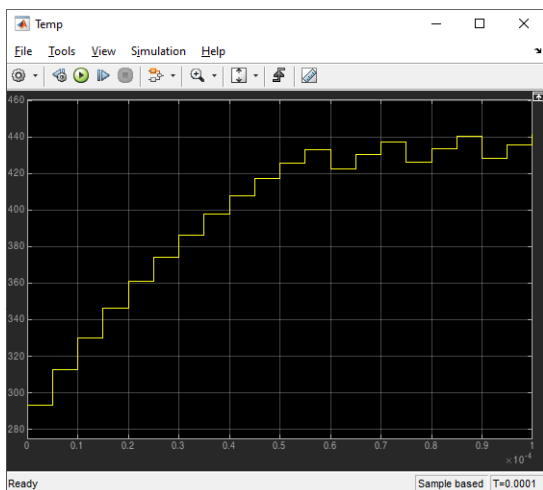


6 在 Simulation 工具栏中，单击 Run（运行）以启动仿真。

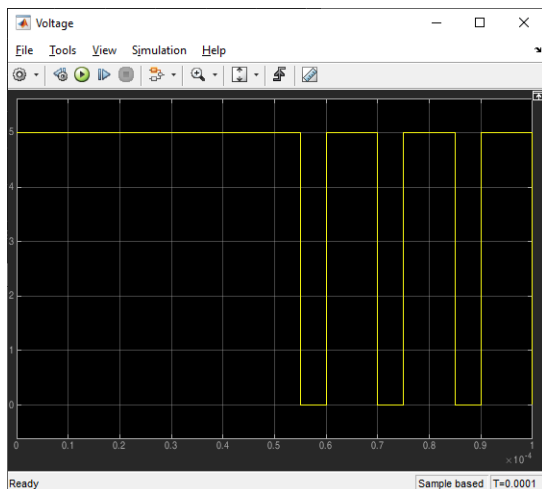
从现在的尖端位移显示器可以看出，在激活开 / 关控制器后，位移保持在  $0.81\text{ }\mu\text{m}$  与  $0.79\text{ }\mu\text{m}$  之间。



最高温度维持在 420 K 与 440 K 之间。



电压显示器显示执行器是否处于激活状态。



## 在协同仿真后处理模型


在 Simulink 中执行求解后，建议您对完整 COMSOL 模型的解进行后处理，而不仅仅是对通过 Simulink 图访问的变量进行处理。



Simulink 仿真完成后，用于协同仿真的模型仍然加载在 COMSOL Multiphysics Server 上。您可以从 MATLAB 启动 COMSOL Desktop 来查看该模型并进行后处理。

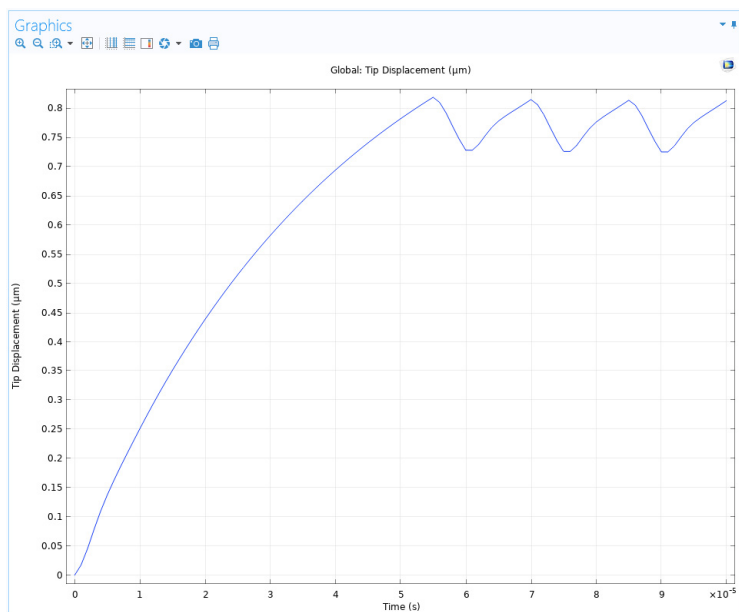
- 1 切换到 MATLAB。
- 2 在 MATLAB 命令行窗口中输入 `mphlaunch` 以启动 COMSOL Desktop，它会自动从 COMSOL Multiphysics Server 加载模型对象。

**注：**您在 COMSOL Desktop 中对模型所做的任何修改都会修改已加载到 COMSOL Multiphysics Server 的模型，因此如果您决定再次运行它，可能会影响与 Simulink 的协同仿真。然而，对于协同仿真设置的更改，您需要再次导出协同仿真文件，然后将其重新加载到 COMSOL Cosimulation 块中。

接下来，我们创建尖端位移图。

- 3 在“结果”工具栏中，单击“一维绘图组”。

- 4 选择“一维绘图组 14”节点，然后在“一维绘图组”的“设置”窗口中，将“数据集”设为“研究 2/ 解 2 (sol2)”，这是用于协同仿真的瞬态研究。
- 5 在“图例”栏中，清除“显示图例”。
- 6 在“一维绘图组 14”工具栏中，单击“全局”。
- 7 在“全局”的“设置”窗口中，定位到“y 轴数据”栏。在表格的“表达式”列中输入 `-comp1.pppb1`。在“描述”列中输入尖端位移。
- 8 单击“绘制”。



请注意该绘图与 Simulink 中所示绘图之间的差异。根据协同仿真的设置，在 COMSOL 模型中，以 COMSOL 求解器的输出时步（每 1  $\mu\text{s}$ ）存储解。

**注：**如果您计划使用当前模型运行新的 Simulink 仿真，请务必先关闭 COMSOL Desktop。