

# PDF文件分析与翻译

## 1. ACS133 - 质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

### 分析

这是一份关于质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析实验指南，用于学生进行课前练习和实验室实验。主要内容包括实验目的、背景知识、典型系统响应参数、课前练习和实验室实验步骤。

### 全文翻译

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

Ben Taylor

学习成果

描述简单非线性系统如何针对围绕工作点的小变化进行线性化

实际 基于阶跃响应图计算简单性能特性

计算系统响应与所需参考值相比的平均绝对误差

实际

第1页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析：

实验前活动

在开始本实验之前，必须完成实验前活动。未能完成这些任务可能导致被拒绝进入实验室。

#### 1 目的和目标

本练习的目的是测量振荡系统（在本例中为质量-弹簧-阻尼器系统）的性能特性，并观察改变物理系统参数的影响。

在课前练习中，您将计算模拟系统的系统性能特性。然后，您将推导不同质量-弹簧-阻尼器系统的传递函数，并观察旋转曲柄系统如何针对小旋转角度进行线性化。最后，您将讨论这种线性近似在多大角度范围内仍然有效。

在实验室会话中，您将观察改变三个参数（弹簧刚度、阻尼系数和系统质量）对系统阶跃响应特性的影响。最后，您将观察系统对道路轮廓的反应，并计算质量位置与道路轮廓输入相比的平均绝对误差。

#### 2 反馈和评分

在课前活动和实验室会话开始之前，您应该回顾之前课前/实验室活动提供的任何反馈，并思考这些反馈如何帮助提高您在这些活动中的表现。

在实验室会话开始时，您的课前作业将被评分，您将获得有关您工作的一些口头反馈。教学人员会将您的分数写在课前会话的背面，但记录所提供的任何口头反馈是您的责任，可以写在工作表背面的空白处或您可以用来反思实验室活动的其他地方。

在实验室会话过程中，您的实验室工作将由多名不同的教学人员定期检查，并会就您在实验室会话中的表现提供口头反馈。同样，记录所提供的口头反馈是您的责任，方式与课前反馈类似。

口头反馈将作为您与实验室教学人员在评分过程中进行的非正式讨论的一部分提供。识别何时提供反馈并记录在此讨论中提出的任何有用评论是您的责任

实验室会话后，您应该审查提供的反馈，反思这一点以及其他反馈，以提高您在未来活动中的表现。

第2页，共24页

## 质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

### 3 背景

您将在本实验室练习中使用的实验质量-弹簧-阻尼器系统旨在模拟汽车悬架系统的行为。悬架和汽车由两个可独立沿滑轨上下移动的连接板表示，如图1所示。下板表示道路轮廓，上板表示车身。两个板通过弹簧和阻尼器连接，上板承载质量以表示汽车的重量。

图1. 质量-弹簧-阻尼器系统示意图

图2. 实验室实验中使用的质量-弹簧-阻尼器组件的照片

下板或道路轮廓通过两个臂传递，一个长度为' $r$ '，一个长度为' $l$ '。长度为' $r$ '的臂直接由高增益伺服电机旋转（通常变化不超过正负30-40度）。当该臂旋转时，它驱动长度为' $l$ '的连杆，该连杆直接移动下板。质量的位置由磁耦合电位器测量。图2显示了实验质量-弹簧-阻尼器组件的照片，其中标识了主要组件。

请注意，实验系统在水平平面中运行，如图2所示，而不是垂直方向，如图1所示。这是为了简化系统分析，通过消除重力作用在系统质量上的系统扰动效应。实验系统的自由体图如图6所示。

#### 3.1 典型系统响应参数

在设计和分析控制系统时，系统响应特性用于描述所需和观察到的系统行为。图3所示的响应特性显示了系统对阶跃输入的输出响应（阶跃发生在 $t=0$ ，幅度为1），并说明了控制系统设计中经常提供的一些标准性能指标。

图3. 特征的归一化阶跃响应，说明了性能规格参数

其中： $y$ 是阶跃输入前的初始输出信号值， $y_s$ 是系统的稳态

初始  $s_s$

输出值， $M$ 是超调的最大峰值， $e$ 是

$P_t s_s$

$y$ 与参考信号最终水平之间的稳态误差，如图3所示

$s_s$

振荡系统通常指定的三个标准性能指标是：

- 百分比超调量，P.O.：系统输出在响应阶跃输入时，从初始水平超调到稳态输出水平的百分比，然后恢复到稳态水平。对于图3所示的响应，这将是：

$M = y - y_s$

$P.O. =$

Pt ss

×100%

方程

y -y 1

ss 初始

第4页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

- 调节时间， $T$ ：定义为系统在初始阶跃后稳定在其稳态值的2%范围内的时  
间，即 $y \pm 2\% \times (y - y_0)$

s

ss ss 初始

- 上升时间， $T$ ：定义为系统阶跃响应从初始值上升到稳态输出值的10%到90%之间的时间，如图3所示。（在图3的情况下，初始值为零 - 实验系统的情况并非如此。）

r1

#### 4 课前练习

课前问题1：对于图4所示的悬架系统阶跃响应特性，计算第3.1节中讨论的三个性能参数：百分比超调量、调节时间和上升时间。

图4. 悬架系统的系统阶跃响应

参数： 值：

百分比超调量 (%)

调节时间 (s)

上升时间 (s)

使用提供的区域进行您的答案和任何必要的计算：

第5页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

如有需要，使用额外纸张

图5说明了质量-弹簧-阻尼器系统，其中：F是作用在X方向上的系统输入力，M是质量的惯性力，B是阻尼器的阻力，K是弹簧的弹性力。

IN M D S

图5. 简单质量-弹簧-阻尼器的自由体图，说明了作用在系统上的力矢量。

其中：X是质量M的位移，K是弹簧系数，B是阻尼器的阻尼系数。

系统的力平衡方程，如图5所示：

$$F = F_x + F_d + F_s$$

IN S D M

课前问题2：完成下表，并在提供的空间中推导出系统的传递函数，显示您的计算过程。

力分量 微分方程 拉普拉斯变换

F  $\Rightarrow$

S

F  $\Rightarrow$

D

F  $\Rightarrow$

M

第6页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

使用提供的区域进行您的答案和任何必要的计算：

如有需要，使用额外纸张

图6所示的自由体图描述了图2所示的实验质量-弹簧-阻尼器系统。

图6. 实验质量-弹簧-阻尼器系统的自由体图。

其中：X是下板位置，X'是

IN OUT L

下板和上板之间的分离距离，使得：

$$X = X + X' \quad X' = X + \Delta X$$

OUT IN L L L $\theta$  L

其中：X是弹簧力为零时上下板之间的自然分离距离，即 $F = 0$ ， $\Delta X$ 是当向下板或上板施加力时弹簧长度的变化。系统的三个力分量现在变为：

L $\theta$  S L

$$F = X' K$$

S L

dX'

L

$$F = B$$

$$D \frac{d}{dt}$$

$$dX$$

OUT

$$F = M$$

$$M \frac{d^2}{dt^2}$$

第7页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

如果向下板施加位移，则力平衡方程变为：

$$F + F + F = 0$$

S D M

课前问题3：在下面提供的空间中，推导出图6所示的质量-弹簧-阻尼器系统的系统传递函数，用于输入位移X和输出位移X'。（提示：为了简化解决方案，假设自然分离距离 $X = 0$ 。）

IN OUT L $\theta$

使用提供的区域进行您的答案和任何必要的计算：

如有需要，使用额外纸张

图7. 伺服电机和下板之间的曲柄连杆图

图7说明了质量-弹簧-阻尼器系统的伺服执行器和下板之间的曲柄臂和曲柄连杆。曲柄臂应被视为长度为r，曲柄连杆长度为L，类似于图1所示。伺服执行器的轴位于X-Y平面的原点(0, 0)。水平参考平面与曲柄臂之间的角度为 $\theta$ ，下板可在水平X平面中自由移动。

第8页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

课前问题4：使用下面提供的空间，推导出下板（道路轮廓）位移X关于伺服旋转角度 $\theta$ 的方程。

IN

注意：仅从下一个问题复制解决方案是不可接受的；只有推导解决方案才会获得分数。

（提示：您可以从求解位置( $X, Y$ )开始，然后使用毕达哥拉斯定理帮助求解下板位置 $X$ ）

1 1 IN

使用提供的区域进行您的答案和任何必要的计算：

如有需要，使用额外纸张

第9页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

用于简化建模和分析的泰勒级数线性化示例：图7所述的下板位置 $X$ 与伺服旋转角度 $\theta$ 之间关系的解决方案如下：

IN

$$X = \sqrt{L^2 - (r \sin \theta)^2} + r \cos \theta$$

IN

注意：下一节将在ACS133课程材料中进一步介绍，但已作为系统线性化的示例包含在内，以简化系统建模和分析。您不需要作为本活动的一部分执行线性化，但已包含在内，供将来参考。泰勒级数近似可用于近似伺服旋转角度和下板位移之间的线性关系。此近似仅在伺服角度围绕工作点 $\theta = \pi/2$ 弧度的小偏差时有效：

$$df(\theta)$$

$$f(\theta) \approx f(\theta^-) + |d\theta| (\theta - \theta^-)$$

$$| d\theta$$

$$\theta^- \theta^-$$

注意：您必须以弧度为单位进行此类型的计算，因为数值解决方案在度中无法正确工作。

此推导的完整解决方案在本活动的Blackboard文件夹中提供。围绕工作点 $\theta = \pi/2$ 弧度的此线性化的最终解决方案

变为：

$$f(\theta) \approx \sqrt{L^2 - r^2} - r(\theta - \pi/2)$$

$$|$$

$$\theta^-$$

因此：

$$X \approx \sqrt{L^2 - r^2} - r(\theta - \pi/2)$$

IN

对于 $\theta$ 围绕工作点 $\theta = \pi/2$ 弧度的小偏差

课前问题5：如果曲柄臂长度 $r=20\text{mm}$ ，曲柄连杆长度 $L=49\text{mm}$ ，则使用MATLAB在同一坐标轴上绘制以下两条轨迹：

- 上面示例中提供的 $X$ 与伺服角度 $\theta$ 的线性化解决方案。

in

- 非线性解决方案（上面示例中提供）。

您应该在 $\theta = 0 \rightarrow \pi$ 的伺服角度范围内绘制您的图形

(请记住，您的图形应该有标题、x轴标签、y轴标签和绘图图例，并且您的图形应该以弧度为单位绘制。)

您应该将MATLAB脚本和图形的副本带到实验室会话。

第10页，共24页

### 质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

课前问题6：在提供的空间中，简要讨论课前问题5中绘制的图形如何证明输出响应可以近似为线性关系。使用您的'工程判断'和课前问题5中的图形，讨论此近似在哪个范围内是合理的。

(注意：作为本问题论证的一部分，您可以注释课前问题5中的图形，但还必须提供一些书面论证。)

使用提供的区域进行您的答案和任何必要的计算：

如有需要，使用额外纸张

此空间用于记录您为课前练习分配的分数。

课前问题1. 2分 在此输入分数：

课前问题2. 2分 在此输入分数：

课前问题3. 2分 在此输入分数：

课前问题4. 2分 在此输入分数：

课前问题5. 2分 在此输入分数：

课前问题6. 2分 在此输入分数：

课前总分数：12分 在此输入分数：

评估的及格分数

7分 及格/不及格

课前评估：结果：

注意：课前实验室的及格分数在打印时已设置为约60% - 这可能会有所变化。如果及格分数从60%改变，这将在实验的Blackboard文件夹中注明。

第11页，共24页

### 质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

日期：

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析：

实验记录

本节将在实验期间完成。它必须在离开实验室前由实验室学术人员、教学技术人员或实验室演示者标记。

#### 1 目的和目标

本练习的目的是测量振荡系统（在本例中为质量-弹簧-阻尼器系统）的性能特性，并观察改变物理系统参数的影响。

在实验室会话中，您将观察改变三个参数（弹簧刚度、阻尼系数和系统质量）对系统阶跃响应特性的影响。最后，您将观察系统对道路轮廓的反应，并计算质量位置与道路轮廓输入相比的平均绝对误差。

#### 2 实验合作者姓名

使用此空间记录您正在与其进行实验的小组成员。

实验室合作伙伴姓名 实验室台号

#### 3 设备

在本实验室练习中，您将使用课前部分中描述的质量-弹簧-阻尼器。在开始练习之前，您需要下载该实验的LabVIEW项目，并将其连接到ELVIS系统。

### 3.1 下载用于本实验室会话的LabVIEW软件

在开始本实验室会话之前，您需要下载LabVIEW项目，并将其扩展到您的大学网络文件存储（U盘）中。为此，您需要遵循以下步骤：

1. 如果您的U盘根目录中还没有名为'LabVIEW Labs'的目录，请创建一个。
2. 从本实验室会话的Blackboard站点，下载本实验室会话的LabVIEW代码，并将.ZIP文件扩展到您的'LabVIEW Labs'文件夹中。（您必须将.ZIP文件扩展到项目文件夹中，因为LabVIEW VI将无法在压缩的.ZIP文件中正常运行。）
3. 通过导航到扩展.ZIP文件时创建的'Time Domain MSD Lab'文件夹，并双击'Main - Time Domain MSD.vi'来启动LabVIEW。这应该启动LabVIEW并自动加载您将在实验室会话后期使用的VI。

### 3.2 启动和停止LabVIEW程序

要运行程序，请按位于前面板左上角的按钮。如果按钮显示，这意味着程序已经在运行。请使用前面板上的大红STOP按钮停止程序执行，而不是位于运行代码箭头旁边的中止按钮。图8提供了LabVIEW软件的屏幕截图

图8. LabVIEW软件的屏幕截图

### 3.3 与接口板的连接

质量-弹簧-阻尼器（MSD）系统使用National Instruments ELVIS II+多功能数据采集平台控制，带有Diamond定制的控制设备接口板。

要将MSD系统连接到控制设备接口板，您需要使用图9中所示的两根电缆。米色电缆可以在控制设备电缆盒中找到，该盒位于桌子下方的中间"设备"橱柜中

第13页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

(a) (b)

图9. (a)米色5针DIN电缆，(b)红色5针DIN电缆

设备的连接应按如下方式进行：

1. 米色5针DIN电缆，如图9a所示：将该电缆的一端连接到控制设备接口板上的编码器2通道，如图10所示，另一端插入质量-弹簧-阻尼器单元末端标记为E2的银色DIN插座，如图11所示。
2. 红色5针DIN电缆，如图9b所示：将该电缆的一端连接到控制设备接口板上的编码器1通道，如图10所示，另一端插入质量-弹簧-阻尼器单元末端标记为E1的红色DIN插座，如图11所示。

图10. 控制设备接口板的连接

(a) (b)

图11. 质量-弹簧-阻尼器单元的连接

第14页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

在连接电缆之前，请确保MSD单元已关闭，即电源开关处于'0'位置，单元末端的绿色LED未点亮。

同时确保ELVIS单元已通过其背面的开关打开，并且控制设备接口板已通过其顶部的开关打开。

### 3.4 弹簧

质量-弹簧-阻尼器可以使用四种不同的弹簧，每种弹簧具有不同的弹簧常数，如表1所示。

弹簧末端 弹簧编号 弹簧常数 弹簧常数

标签颜色

颜色（标签上写的）（**lbs/in**）（**N/m**）

绿色 1 棕色 1.6 280

红色 2 红色 2 350

橙色 3 橙色 3 525

**表1.** 本实验可用的不同弹簧，描述识别标记和弹簧常数

弹簧通过将弹簧的螺纹端穿过孔，并用较小的蝶形螺母固定到位，连接到每个平台的前面。

### 3.5 附加阻尼器

上平台轴承和导轨之间存在的摩擦为系统提供了一定量的阻尼。

可以向系统添加两个附加阻尼元件。第一个元件是轻阻尼器，为系统提供少量附加阻尼；这用黄色扎带标记。用红色扎带标记的阻尼元件将为系统提供相当强的阻尼。

将阻尼器连接到系统时，请确保它们完全插入正确的螺柱上。

### 3.6 质量

可以将附加质量添加到质量-弹簧-阻尼器系统的上平台，如表2所述。

质量上的文本标记 质量（**Kg**） 可用单位数量

1N 约0.100 5

5N 约0.500 1

**表2.** 描述实验可用质量的表格

将质量连接到上平台螺柱时，请确保使用提供的较大蝶形螺母将其固定到位，并且蝶形螺母和质量之间有垫圈。

第15页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

## 4 实验室练习

在实验室练习中，您将观察由于系统质量、弹簧和阻尼参数的变化而导致的系统阶跃响应特性的变化。最后，在最后一个实验中，您将使用伺服位置轮廓操作质量-弹簧-阻尼器单元，以模拟道路轮廓，并计算上推车位置相对于初始静止推车位置的平均绝对误差。

### 4.1 实验1 - 改变弹簧常数对系统响应的影响

在本实验中，您将研究改变弹簧刚度对系统响应的影响。

1. 确保质量-弹簧-阻尼器侧面的电源开关切换到'0'
2. 启动**LabVIEW**程序，然后单击位于**LabVIEW VI**顶部的阶跃响应测试按钮
3. 在两个推车之间连接1号弹簧，并向上推车上加载约500g的质量。不要连接阻尼单元。
4. 通过将电源开关切换到'1'来打开质量-弹簧-阻尼器单元，并确保单元侧面的电源LED亮起，
5. 选择测试1，单元应运行20秒。将为该测试在阶跃响应结果选项卡上记录一个数据周期
6. 关闭质量-弹簧-阻尼器单元，并用弹簧2号和3号替换步骤3-5，分别使用测试2和测试3按钮记录数据
7. 单击阶跃响应数据按钮，并使用图12中提供的轴绘制阶跃响应结果选项卡屏幕上显示的3个图形。（确保您标记所有三个草图）
8. 在表3中，写下三个测试的百分比超调量、调节时间和上升时间，然后回答实验室问题1。

**图12.** 用于记录实验1结果的图形轴。

第16页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

使用提供的区域进行任何计算：

如有需要，使用额外纸张

参数：测试1：测试2：测试3：

百分比

超调量 (%)

调节时间 (s)

上升时间 (s)

### 表3. 实验1的结果表

实验室问题1：根据表3和图12中的结果，评论增加弹簧刚度对系统性能的影响。（弹簧常数越高，弹簧越硬）

第17页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

如有需要，使用额外纸张

此时，您应该向实验室教学人员展示您的工作，以评估本练习

## 4.2 实验2 - 改变阻尼对系统响应的影响

在本实验中，您将改变系统中的阻尼水平，并研究这对系统输出的影响。

1. 确保质量-弹簧-阻尼器单元侧面的开关切换到'0'
2. 在两个推车之间连接1号弹簧，并向上推车上加载约1000g的质量。不要连接阻尼单元。
3. 单击阶跃响应数据按钮，然后按'清除图形'按钮，为本练习重置图形轴。
4. 通过将电源开关切换到'1'来打开质量-弹簧-阻尼器单元，并确保单元侧面的电源LED亮起，
5. 单击阶跃响应测试按钮返回阶跃响应测试，然后按测试1按钮，单元应运行20秒。
6. 关闭质量-弹簧-阻尼器单元，并添加带有黄色标记的较轻阻尼器。
7. 打开质量-弹簧-阻尼器单元，并用较轻阻尼器运行测试2。
8. 关闭质量-弹簧-阻尼器单元，并添加带有红色标记的较强阻尼器。
9. 打开质量-弹簧-阻尼器单元，并用较强阻尼器运行测试3。
9. 单击阶跃响应数据按钮，并使用图13中提供的轴绘制阶跃响应结果选项卡屏幕上显示的3个图形。（确保您标记所有三个草图）

10. 在表4中，写下三个测试的百分比超调量、调节时间和上升时间，然后回答实验室问题2。

注意：可能无法为所有三个测试计算百分比超调量

第18页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

图13. 用于记录实验2结果的图形轴。

使用提供的区域进行任何计算：

如有需要，使用额外纸张

参数：测试1：测试2：测试3：

百分比

超调量 (%)

调节时间 (s)

上升时间 (s)

### 表4. 实验2的结果表

第19页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

实验室问题2：根据表4和图13中的结果，评论添加增加水平的系统阻尼如何影响系统响应。

如有需要，使用额外纸张

此时，您应该向实验室教学人员展示您的工作，以评估本练习

#### 4.3 实验3 - 改变质量对系统响应的影响

在本实验中，您将研究改变上平台质量大小如何影响系统性能。

1. 确保质量-弹簧-阻尼器单元侧面的开关切换到'0'
2. 在两个推车之间连接1号弹簧，并向上板加载约200g的质量。不要连接阻尼单元，并打开质量-弹簧-阻尼器单元。
3. 单击阶跃响应数据按钮，然后按'清除图形'按钮，为本练习重置图形轴。
4. 通过将电源开关切换到'1'来打开质量-弹簧-阻尼器单元，并确保单元侧面的电源LED亮起，
5. 单击阶跃响应测试按钮返回阶跃响应测试，然后按测试1按钮，单元应运行20秒。
6. 关闭系统，并向上板加载总共约600g的质量。
7. 打开质量-弹簧-阻尼器单元，并用该质量运行测试2
8. 关闭系统，并向上板加载总共约1000g的质量。
9. 打开质量-弹簧-阻尼器单元，并用该质量运行测试3
10. 单击阶跃响应数据按钮，并使用图14中提供的轴绘制阶跃响应结果选项卡屏幕上显示的3个图形。（确保您标记所有三个草图）
11. 在表5中，写下三个测试的百分比超调量、调节时间和上升时间，

第20页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

然后回答实验室问题2。

（注意：可能无法为所有三个测试计算百分比超调量）

图14. 用于记录实验3结果的图形轴。

使用提供的区域进行任何计算：

如有需要，使用额外纸张

参数：测试1：测试2：测试3：

百分比

超调量 (%)

调节时间 (s)

上升时间 (s)

#### 表5. 实验3的结果表

实验室问题3：根据表5和图14中的结果，评论上板质量变化如何影响系统响应。

第21页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

如有需要，使用额外纸张

此时，您应该向实验室教学人员展示您的工作，以评估本练习

#### 4.4 实验4 - 系统对模拟道路轮廓的响应

在本实验中，质量-弹簧-阻尼器单元将受到悬架系统（例如汽车）可能受到的真实道路轮廓的刺激。将研究的'道路轮廓'如图15所示。在本实验中，您将使用下面提供的方程计算平均绝对误差（**MAE**）。该方程考虑了上板（即汽车）的'实际'实时位置与悬架系统的'参考'输入（即道路轮廓）之间的差异。

1. 确保质量-弹簧-阻尼器单元侧面的开关切换到'0'
2. 在两个板之间连接1号弹簧，向上板附加总共约600g的质量，并附加带有黄色标记的较轻阻尼器。
3. 单击LabVIEW VI上的道路轮廓按钮
4. 按开始测试按钮开始测试，并允许其运行到轮廓结束。
5. 使用表6记录上板在0.25秒采样间隔下的实际测量位置（以mm为单位）。
6. 在相同的时间间隔，您还应该记录'参考位置'，即：相同时间步长下的道路轮廓位置。
7. 使用此数据，使用以下公式计算测试的平均绝对误差：

$$\Sigma | \text{实际} - \text{参考} |$$

$$\text{MAE} =$$

$$N$$

注意：在计算**MEA**值时，您可能会发现使用Excel或MATLAB进行数据分析比尝试在纸上执行计算更方便。

使用"将此数据导出到CSV"按钮将数据导出到.csv文件，然后您可以将其加载到Excel、MATLAB等中...

第22页，共24页

### 质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

实际 实际

参考 参考

测量 测量

时间 (s) 位置 时间 (s) 位置

位置 位置

(mm) (mm)

(mm) (mm)

0 5.25

0.25 5.5

0.5 5.75

0.75 6

1 6.25

1.25 6.5

1.5 6.75

1.75 7

2 7.25

2.25 7.5

2.5 7.75

2.75 8

3 8.25

3.25 8.5

3.5 8.75

3.75 9

4 9.25

4.25 9.5

4.5 9.75

4.75 10

5

表6.实验4的结果表。

图15. 实验4的道路轮廓。

得到的MEA值是多少？

第23页，共24页

质量-弹簧-阻尼器系统的时域分析

此时，您应该向实验室教学人员展示您的工作，以评估本练习

此空间用于记录您的课前练习的分数。请在工作表背面的空白处记录您收到的这些活动的任何口头反馈。

请圈出分数

部分： 评分标准：

已授予

绘制的图形，表格

完成并回答了问题

实验1. 及格/不及格

详细程度足够

绘制的图形，表格

完成并回答了问题

实验2. 及格/不及格

详细程度足够

绘制的图形，表格

完成并回答了问题

实验3. 及格/不及格

详细程度足够

表格完成并提供了值

实验4. 及格/不及格

从课前复制

课前评估： 及格/不及格

评分表

所有部分都通过才能

获得最终整体

结果

及格 及格/不及格

评估

## 分数

在离开实验室会话之前，请确保实验室人员已记录所有分数。离开实验室会话后，将不会获得分数。

完成后，请关闭放大器、MSD系统和ELVIS单元。还请小心地从ELVIS板和MSD系统上拔下所有电线，并将它们整齐地放回控制电缆盒中。

当您的系统断开连接、工作区域整洁且所有分数都已记录后，您可以离开实验室。

## 实验后活动

本实验室没有强制性的实验后活动，但如果能完成本实验Blackboard文件夹中的反馈表，我们将不胜感激。您提供的反馈结果将用于改进未来会话的实验室。

第24页，共24页

## 2. Assignment 1

### 分析

这是ELE120物理系统课程的作业1，基于四分之一车悬架模型的跑车设计。主要内容包括作业要求、提交说明、评分标准和四个具体任务。

### 全文翻译

#### ELE120 物理系统

##### 作业1

Ross Drummond博士

作业权重

占模块总成绩的15%

作业发布

秋季学期第7周

作业截止日期

秋季学期第12周（Blackboard/在线提交截止日期12月19日星期五下午5点）。您可以在提交截止日期之前提交您的工作（截止日期不是目标！）。不要等到最后一刻，以防遇到任何不可预见的问题。有关提交内容，请参见下文的“作业简介”。

迟交处罚

将根据大学政策应用迟交处罚

<https://www.sheffield.ac.uk/ssid/assessment/grades-results/submission-marking>

反馈

目标是在提交截止日期后两周内向学生提供反馈。

不公平手段

这是个人作业。不要与他人讨论您的解决方案/工作。提交的工作必须完全是您自己的。涉嫌不公平手段将被调查，并可能导致处罚。有关指导，请参见  
<https://www.sheffield.ac.uk/ssid/unfair-means/index>。

#### 特殊情况

如果您有任何可能影响您在作业中表现的医疗或特殊情况，或者要求延长截止日期，您必须提交特殊情况表格。有关更多信息，请参见<https://www.sheffield.ac.uk/ssid/forms/circs>。

第1页，共8页

#### 作业简介

本作业/报告将评估您对物理系统的基本理解，包括与**ELE120**模块相关的**MATLAB/Simulink**的使用。该作业基于跑车的四分之一车悬架模型；本案例研究在秋季学期的讲座和实验室会话中进行了研究。

- 您的答案必须包括用于解决下面显示的作业问题的**MATLAB**代码和**Simulink**模型，以及任何支持的输出结果（绘图/图表等）和任何其他相关证据，以证明您的解决方案。
- 在报告中，您需要直接解决问题，包括您的工作方法、理由/假设，以及适当地包含对结果的简要讨论。
- **MATLAB**代码必须包含注释，包括标题、作者、日期、代码目的和帮助详情，如**MATLAB**实验室会话所示。
- 在完成作业时，您应该准备使用**MATLAB**帮助系统并进行一些个人学习，以了解您可能需要的函数或功能。
- 请从上到下完整阅读说明。不要跳过任何内容。

#### 帮助

作业简介、**ELE120**课程材料和**MATLAB**内置帮助是所需的全部。

需要强调的是，**Google**是解决**MATLAB**问题的高效工具，对于帮助解决此类编码问题非常有用。如果您需要对作业进行澄清，请与相关学术人员联系。

第2页，共8页

#### 提交您的工作：

您必须提交一份报告文档和所有相关的**MATLAB/Simulink**文件。

#### 报告文档

您必须将完成的作业报告作为单个文档通过**Turnitin**提交到**ELE120 Blackboard**页面。您必须在每页顶部（页眉）包含您的大学注册号。您的报告应使用文字处理软件，最小字体大小为**11**，四周最小边距为**2.5cm**，总页数最多为**10**页。超出**10**页的内容将不会获得分数。报告应保存为**.pdf**文件格式。

建议使用**google docs/Microsoft Word**或**Latex**等文字处理软件生成报告。

#### **MATLAB/Simulink**文件

除了**Turnitin**提交外，您还必须通过电子邮件提交一个包含任务**1**和任务**4**的**MATLAB**和**SIMULINK**文件的单个**zip**文件（\*.zip, \*.7z, \*.rar）。此**zip**文件中应包含以下**5**个文件。

**task1.m** 此文件包含您的任务**1**的**MATLAB**代码。

**task1sim.slx** 此文件是您的任务**1**的**Simulink**模型。请注意扩展名。文件"\*.slx c"无法处理，如果您不提交"\*.slx"文件，您的**MATLAB**部分将获得零分。

**task4.m** 此文件包含您的任务**4**的**MATLAB**代码。

**task4sim.slx** 此文件是您的任务4的Simulink模型。请注意扩展名。文件"**\*.slx c**"无法处理，如果您不提交"**\*.slx**"文件，您的MATLAB部分将获得零分。

**roadProfile.mat** 此文件已提供。任务4需要它。

您必须将此发送到Drummond博士的电子邮件**ross.drummond@sheffield.ac.uk**。使用您的大学电子邮件账户进行此操作。您的zip文件应使用格式"**ELE120\_{我的大学注册号}.zip**"命名。例如，在此格式中，注册号为**1111**的学生的zip文件夹名称将是"**ELE120\_1111.zip**"。

第3页，共8页

**重要提示：**在通过电子邮件发送文件之前，测试您的zip文件，确保您的解压缩代码在解压缩到干净的空文件夹时能够工作。这是评分时会发生的情况

评分标准

**报告，任务1 10**

分数将根据正确的解决方案和方法、相关的理由和支持性讨论授予。

**任务1 MATLAB和Simulink 10**

将评估您的代码是否无错误运行，并且在独立模式下重复运行（即不依赖于工作区中的预先存在的值）；不依赖于工作区中的预先存在的值；给出正确的答案和/或伴随的文本和/或带有单位、标签等细节的正确绘图，并且您已经展示了MATLAB的熟练程度，注意设计、可读性和一致性（清晰的设计、良好的缩进、合理的变量名、有用的注释、良好的帮助）。

**报告，任务2 10**

分数将根据正确的解决方案和方法、相关的理由和支持性讨论授予。

**报告，任务3 20**

分数将根据正确的建模方法和设计、解决方案和方法、相关的理由和支持性讨论授予。

**报告，任务4 25**

分数将根据正确的建模方法和设计、解决方案和方法、相关的理由和支持性讨论授予。

**任务4 MATLAB和Simulink 20**

将评估您的代码是否无错误运行，并且重复运行；不依赖于工作区中的预先存在的值；给出正确的答案和/或伴随的文本和/或带有单位、标签等细节的正确绘图，并且您已经展示了MATLAB的熟练程度，注意设计、可读性和一致性（清晰的设计、良好的缩进、合理的变量名、有用的注释、良好的帮助）。

**报告质量 5**

英语使用、报告结构和写作清晰度、图表/绘图/图表质量、参考资料的使用和解决方案的理由。

**总计：100**

第4页，共8页

作业任务

场景：

您是一个多学科团队的成员，负责为一家国际公司设计跑车。您的职责包括汽车悬架组件，并且您是将为悬架设计提供建议的工程师。

**任务1**

使用**ELE120**讲座和**MATLAB**实验室会话中的内容，创建一个**MATLAB**脚本文件和**Simulink**模型来模拟四分之一车悬架系统。

使用您的Simulink模拟，考虑驾驶员座椅位置对参考位移 $r(t)$ 的阶跃幅度为 $0.1\text{ m}$ 的阶跃响应，分别考虑汽车处于'巡航模式'和'运动模式'时的情况。计算：

1. 上升时间，
2. 超调量，
3. 调节时间（到最终值的2%和5%）。

在您的报告中，您应该明确说明您计算了哪些特定值。

解释两种阶跃响应之间的差异以及这些差异的原因。评论这些特性如何与车辆性能相关。尽可能精确，明确说明两种模式之间模型参数的变化如何影响模型方程，从而影响响应。

在完成任务1时，您应该：

- 创建一个单一的MATLAB脚本，提示用户选择运动或巡航模式，
- 分配块参数和任何其他所需的变量，
- 执行Simulink模型，
- 生成模拟结果的标记图，
- 适当地显示结果。
- 然后，在报告中讨论您的发现。
- 您可能想要使用``stepinfo'' MATLAB函数来评估阶跃响应。

第5页，共8页

## 任务2

为了避免对悬架元件造成任何损坏，设计师建议在悬架中包含机械'缓冲块'，以将车轮和底盘之间的相对位移保持在 $+/- 2\text{ cm}$ 以内。此相对位移被限制为Simulink模型中的信号"y"。

1. 使用适当的非线性块在您的Simulink模型中实现此更改，然后绘制设计更改前后车轮位移的曲线，分别针对巡航和运动模式。请参阅第3讲中的非线性块示例（饱和、量化或死区），并选择一个可以限制此位移的块。确保您已经确定了在Simulink模型中插入此非线性块的正确位置。

2. 解释您在底盘位置观察到的新行为。

您不需要提交此任务的MATLAB/Simulink模型，但请在报告中提供Simulink模型作为图。

## 任务3

在任务2中进行设计更改后，运动模式下的底盘运动现在超出了车辆的性能规格。这些规格是车轮的绝对位移（信号 $r+x$ ）应具有：

- 百分比超调量小于72%，
- 调节时间（到稳态值的2%）小于 $0.25\text{ s}$ 。

为了实现这些规格，建议修改底盘的弹簧刚度和阻尼。考虑以下设计选项：

表1：弹簧刚度和阻尼值表。

阻尼值 $C$  1000 Ns/m 1500 Ns/m 3000 Ns/m 6000 Ns/m

2

弹簧刚度 $K$  5000 N/m 13000 N/m 30000 N/m 50000 N/m

2

对于表1（上文）中给出的每个 $C$  和 $K$  组合，

2 2

第6页，共8页

1. 计算（并在类似于下面的表2和表3的两个表中呈现）百分比超调量和调节时间（到稳态值的2%）。```stepinfo`'' MATLAB函数可能对计算这些值很有用。如果您没有得到满足这两个条件的任何值，那么请确保您已经限制了Q2中的信号"y"。

2. 评论C 和K 变化对这些性能指标（百分比超调量和调节时间）的影响。请精确；这些参数变化如何影响您的模型动态，以及这如何影响您看到的不同响应？

2 2

3. 从表1中给出的选项中选择一个满足本任务开始时给出的规格的适当设计。解释为什么您选择的设计是适当的，考虑到驾驶员的舒适性 - 您可能想要参考阶跃响应来证明您的设计选择。

[4分]

表2：底盘调节时间（到最终值的2%）随弹簧系数K 和阻尼系数C 变化的情况。

2 2

调节时间 (s)

悬架阻尼器 - C (Ns/m)

2

1000 1500 3000 6000

5000

13000

悬架

30000

弹簧 - K (Ns/m) 50000

2

表3：底盘百分比超调量（%）随弹簧系数K 和阻尼系数C 变化的情况。

2 2

百分比超调量 (%)

悬架阻尼器 - C (Ns/m)

2

1000 1500 3000 6000

5000

13000

悬架

30000

弹簧 - K (Ns/m) 50000

2

您不需要提交此任务的MATLAB/Simulink模型，但请在报告中提供适当的信息，以便您的方法和结果清晰。

第7页，共8页

任务4

为了验证您提出的设计，项目经理希望您使用真实的道路轮廓模拟整个车轴（两个车轮）作为独立悬架的悬架行为。原型车准备好后，将使用公司的测试赛道进行此验证。测试赛道的道路轮廓已提供（在"roadProfile.mat"中），分别为左轮和右轮估计，以1秒间隔采样（完整一圈90秒）。

每个车轮位置与道路轮廓之间的差异可以被视为‘牵引力’的指标。

1. 基于任务2中的模型，开发一个完整的车轴模型（由车轴上的两个车轮组成），并计算一圈内车轮位置与道路轮廓之间的均方根误差（RMSE），分别针对巡航模式和运动模式（每个车轮）。
2. 解释RMSE值如何显示两种不同模式下的牵引力。
3. 左轮和右轮位置之间的差异是水平稳定性的指标；计算每种悬架模式的平均绝对误差（MAE）并评论您的发现。
4. 在您的报告中说明并解释您用于这些计算的方程以及获得的值。

要完成任务4，您应该创建一个单一的MATLAB脚本，该脚本

- 提示用户选择运动或巡航模式，
- 分配块参数、道路轮廓和任何其他所需的变量，
- 执行Simulink模型，
- 生成模拟结果的标记图，
- 执行RSME和MAE计算并适当地显示结果。

第8页，共8页

### 3. Sports car design project, engineering specification notes

#### 分析

这是跑车设计项目的工程规格说明，主要内容包括车辆重量分配和悬架系统的两种模式（巡航模式和运动模式）的具体参数。

#### 全文翻译

跑车设计项目，工程规格说明

致悬架设计团队的说明：

虽然跑车的设计尚未最终确定，但我们能够估计车辆的重量，并将其分配给相关的悬架部件。

这些按比例分配给四分之一车模型如下：M

3

M

2

驾驶员座椅和固定装置（包括驾驶员）= 100 kg

1

车辆底盘 = 250 kg

车轮、车轴等 = 50 kg

（最终重量可能会略有不同，取决于材料和部件选择）。

到目前为止选择的部件的阻尼和刚度系数如下。汽车将能够在两种主要悬架设置之间切换，一种用于'巡航模式'，一种用于'运动模式'。每种模式产生不同的悬架阻尼/刚度系数集。

1

驾驶员座椅固定装置，刚度  $C = 2200 \text{ N/m}$

1

驾驶员座椅固定装置，阻尼

C

= 700 Ns/m

3

驾驶员座椅靠背摩擦 = 300 Ns/m

2 2

悬架弹簧  $K = 8000 \text{ N/m}$  (巡航模式)  $K = 13000 \text{ N/m}$  (运动)

C

m

C

o de)

2 2

悬架阻尼器

K

= 900 Ns/m (巡航模式) = 1500 Ns/m (运动模式)

3

车轮-轮胎 = 120000 N/m

## 4. representative\_report

### 分析

这是ELE120作业1的代表性报告模板，提供了报告的结构和每个任务的写作建议。

### 全文翻译

ELE120: 作业1

代表性报告

您的姓名等

摘要

本文档给出了ELE120作业1报告中要写的内容的想法。我用LATEX写了这段文字，因为它能制作出最好的图形和方程，但您可以使用任何文字编辑器。这是一份代表性报告 - 如果您愿意，可以超越这里所说的内容。就写作风格而言，我发现Stephen Boyd教授在[BV14]中的评论非常清晰和高质量。

## 1 任务1

(cid:136)

显示一个表格，展示运动和巡航模式的数值（如下表）。

(cid:136)

写一段解释，讨论运动和巡航模式下响应之间的差异。您可以选择提供一些支持您论点的图表。考虑模拟中哪些参数发生了变化，这如何影响作用在汽车上的力，以及这些新力如何影响响应。

(cid:136)

尽可能精确和简洁，并在可能的情况下用对图表和模型的引用支持您的解释。

表1：“此表显示了这一点和那一点。”

上升时间 [s] 超调量 调节时间到2% [s] 调节时间到5% [s]

巡航模式 ?? ?? ?? ??

运动模式 ?? ?? ?? ??

1

## 2 任务2

(cid:136)

展示您如何修改Simulink模型的图片。

(cid:136)

解释您添加了什么非线性以及为什么这样做。

(cid:136)

非线性应该是量化、死区或饱和。证明您的选择以及您决定如何调整模型以限制信号y的原因。

(cid:136)

确保您已经确定了在Simulink模型中插入非线性的正确位置。通常，学生确定了要修改的正确信号，但将非线性块插入了错误的位置。请仔细考虑模型中正在被限制的信号是什么，它在哪里生成，并确保您没有在（例如）它被反馈到模型的其他部分之后限制此信号。

(cid:136)

提供一个模拟结果，证明您的设计选择是正确的（如机械缓冲块导致感兴趣的相对位移被限制在 $\pm 2\text{cm}$ 之间）。

(cid:136)

讨论引入该非线性如何影响车辆的整体响应。同样，考虑问题的物理原理。限制该相对位移如何影响作用在车辆上的力？

## 3 任务3

(cid:136)

简要描述您用来填写两个表格空白的过程。

(cid:136)

展示您为表格计算的值。

(cid:136)

评论增加/减少刚度/阻尼如何影响系统。类似于任务1，从问题的物理原理角度思考。随着参数变化，车辆经历的力如何变化，并用于论证响应可能如何变化。

(cid:136)

查看表格中的值，并讨论哪些参数值满足设计约束。选择一个设计，例如刚度K 和阻尼值C，

2 2

并解释为什么这是一个好的设计。我添加了图1来展示如何在LATEX中显示和引用图表。

2

表2: 任务3的示例表。这显示了这一点。

C (Ns/m)

2

1000 1500 3000 6000

)m/N(

K 2

5000 ?? ?? ?? ?? ??

13000 ?? ?? ?? ?? ??

30000 ?? ?? ?? ?? ??

50000 ?? ?? ?? ?? ??

0.16

0.14

0.12

0.1

0.08

0.06

0.04

0.02

0

0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4

(a) 以.jpg文件格式保存的图 (b) 通过截图获得的图 (c) 以.eps文件格式保存的图

图1: 作业1任务1的同一图的三个版本。图(a)保存为".jpg", 由于这不是矢量格式且图像已缩放, 因此模糊。图(b)是通过截图并使用Microsoft Paint裁剪图像获得的。同样, 图像模糊且不清晰。然而, 图(c)已保存为".eps", 这是一种矢量格式, 这意味着当图像被缩放时, 图像的清晰度不会丢失。获得这样清晰的图像是使您的报告看起来更专业和易读的简单方法。

4 任务4

(cid:136)

非常简要地概述您为此任务修改代码的方式。利用独立悬架的事实, 因此两个车轮具有相同的动力学但断开连接。

(cid:136)

计算RMSE值。将其与问题中讨论的牵引力联系起来。哪种模式具有更高的牵引力? 讨论为什么会这样。

(cid:136)

再次对MAE和水平稳定性执行相同操作。

(cid:136)

确保模型的采样时间设置为1s。

3

参考文献

