

# 进阶设计实验——基于 Labview 的悬臂梁振动测量

## 一、实验目的

分别利用加速度传感器、应变传感器测量悬臂梁的固有频率。本实验中，要求同学自己搭建处理应变的电桥电路，并用集成运放对电压信号进行放大处理，最后利用提供的数据采集系统对传感器信号进行采集，转换，数据处理，频谱显示等系列后处理操作，从而达到以下目的。

- 1) 掌握相关传感器的测量原理、安装及使用方法。
- 2) 掌握电桥电路（根据测量对象，选择不同应变片搭建单桥、半桥或者全桥电路），基本放大电路的设计搭建。
- 3) 设计一个测试悬臂梁固有频率的自动测试系统，测出悬臂梁的固有频率和结构阻尼比，熟悉基本的数据处理方法。
- 4) 理解调制解调方法，能使用常用载波正弦波对测量信号进行调制解调。

## 二、实验系统

### 2.1 实验设备

悬臂梁：梁的一端为不产生轴向、垂直位移和转动的固定支座，另一端为自由端。在工程力学受力分析中，大部分实际工程受力部件都可以简化为悬臂梁，在工程应用中属于比较典型的简化模型。

测量悬臂梁振动频率可采用的方法有很多，如应变片，位移传感器，加速度传感器等。本实验通过加速度传感器和应变片来完成实验测量，提供的实验设备有：

- 1) 悬臂梁实验架
- 2) 加速度传感器、应变片
- 3) 数据采集卡 NI-9230, NI-9201 或 NI-9215
- 4) 运放 LM358、电阻、线束
- 5) 电脑、万用表、示波器

### 2.2 实验原理

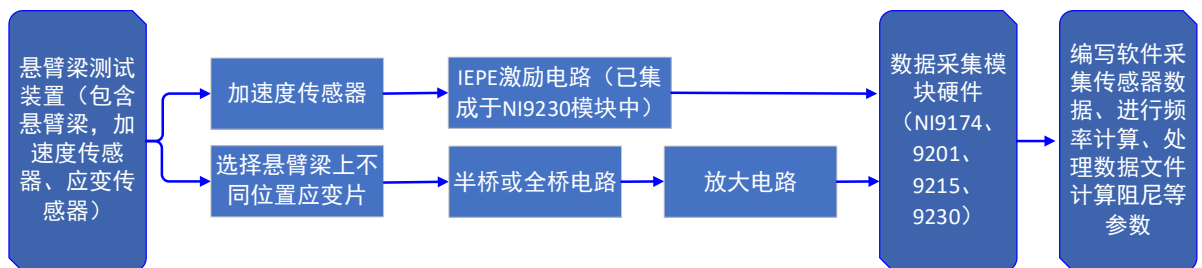


图 1 实验原理图

实验原理图如上所示，主要通过加速度传感器和应变传感器检测梁的振动，分别采集这两种传感器的信号。加速度传感器采用专用采集模块 NI-9230；应变传感器，通过搭建电桥和放大电路，调理后的电压信号接入 NI-9201 或 NI-9215；编写采集程序，保存数据文件，进行频谱分析，计算阻尼比。其中悬臂梁上下表面不同位置贴有应变片，实验中要求学生自己选择应变片组成单桥、半

桥或者全桥电路，供电为 5V 或者 12V 直流供电。

悬臂梁的固有频率：固有频率也称为自然频率(natural frequency)。物体做自由振动时，其位移随时间按正弦或余弦规律变化，振动的频率与初始条件无关，而仅与系统的固有特性有关(如质量、形状、材质等)，称为固有频率，其对应周期称为固有周期。

阻尼：阻尼是指任何振动系统在振动中，由于外界作用或系统本身固有的原因引起的振动幅度逐渐下降的特性，以及此特性的量化表征。

实验中用脉冲锤敲击试件，产生近似于半正弦的脉冲信号。信号的有效频率取决于脉冲持续时间  $\tau$ ， $\tau$  越小则频率范围越大。

1) 幅值：幅值是振动强度的标志，它可以用峰值、有效值、平均值等方法来表示。频率：不同的频率成分反映系统内不同的振源。通过频谱分析可以确定主要频率成分及其幅值大小，可以看到共振时的频率，也就可以得到悬臂梁的固有频率。

### 2) 阻尼比的测定

自由衰减法：在结构被激起自由振动时，由于存在阻尼，其振幅呈指数衰减波形，可算出阻尼比。

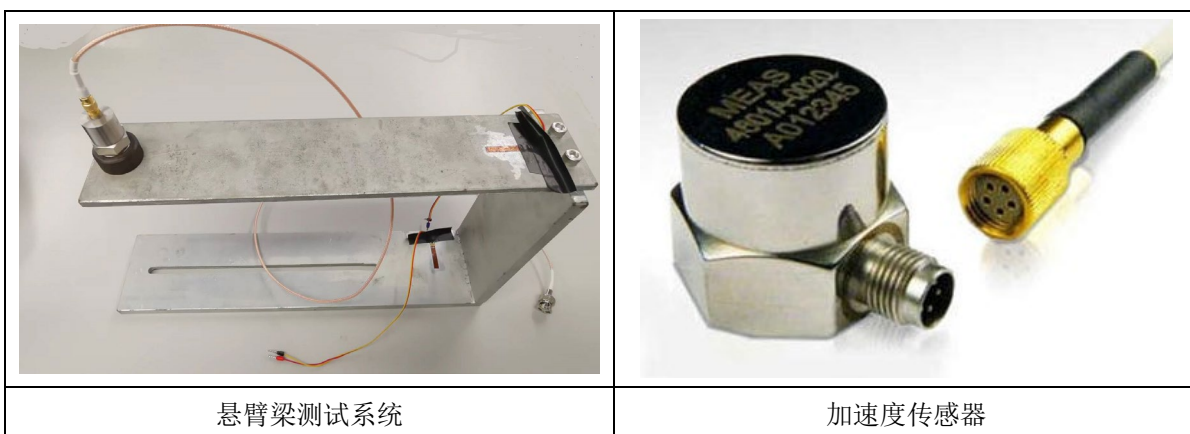
### 3) 调制解调

测量的物理量经过传感器变换后得到的信号如果是一些低频信号，利用直流放大常会带来零漂和级间耦合等问题，造成信号失真。通常设法将这些低频信号进行调制后变成高频信号，然后用简单的交流放大器进行放大，避免直流放大带来的问题。在无线电中，为了防止发射信号的串扰，也需要将声频信号移到各自分配的高频、超高频频段上进行传输与接收，这中间也用到调制解调。

## 三、实验步骤

### 1) 加速度传感器连接

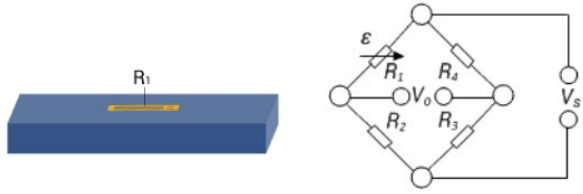
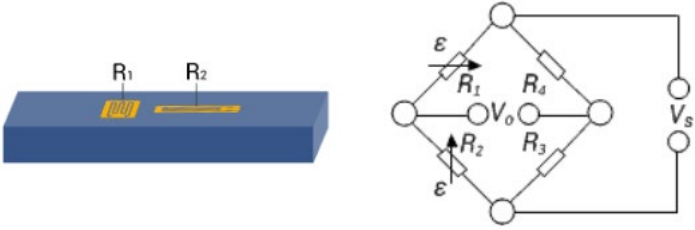
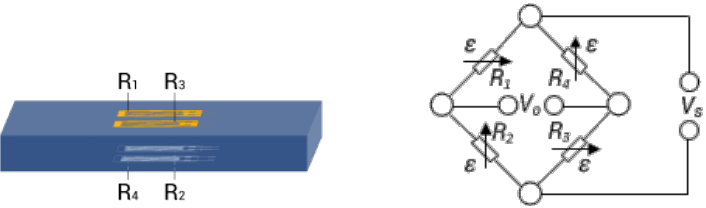
加速度传感器靠磁力吸在悬臂梁上，传感器输出 BNC 线接至动态采集模块 NI-9230。



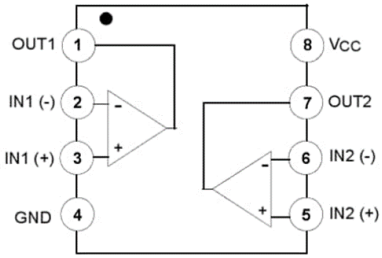
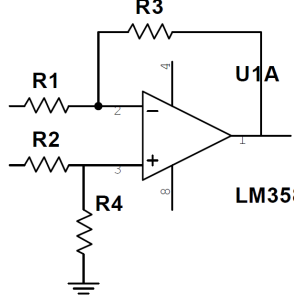
### 2) 应变片连接、电桥电路和放大电路搭建

实验测量的应变片已贴在悬臂梁上，可选择不同位置应变片，自行搭建电路，组成单桥、半桥或者全桥测量电路，搭建放大电路。输出的电压信号选择 NI-9201 或者 NI-9215 模块采集。参考电

路如下图所示。

 <p>单桥电路（<math>V_s</math> 为直流供电电源，<math>V_0</math> 为输出电压）</p>	<p><math>R_1</math> 测量梁的弯曲变形, 没有温度补偿。</p>
 <p>半桥电路（<math>V_s</math> 为直流供电电源，<math>V_0</math> 为输出电压）</p>	<p><math>R_1</math> 温度补偿, <math>R_2</math> 测量梁的弯曲变形</p>
 <p>全桥电路（<math>V_s</math> 为直流供电电源，<math>V_0</math> 为输出电压）</p>	<p>带温度补偿, 全桥测量信号幅值更大。</p>

放大器选用集成运放 LM358:

 <p>LM358 引脚图和功能</p>	 <p>放大电路（也可用自己设计的放大电路）</p>
---	--

### 3) 编写采集程序, 采集自由振动信号

- ①完成信号线连接后, 连接电源线到采集模块, 注意传感器类型, 输出信号类型及范围;
- ②程序中需要设置触发, 当敲击悬臂梁时开始采集, 采集时间为 1-2s, 将数据保存至 txt 文档。

#### 4) 计算悬臂梁固有频率

①将保存的数据生成波形，注意采样频率；

②计算波形频谱，获得固有频率。

#### 5) 对测量的悬臂梁振动信号进行调制解调

选取应变或者加速度计测得的信号进行调幅调制解调。使用正弦波作为载波，对测量的物理信号进行幅值调制，分别显示载波信号，调制波信号，并使用同步解调和包络检波进行信号解调。调制前要注意信号频率、采样频率大小，选择合适载波频率，使用包络检波前要注意对调制前信号进行偏置。分别显示同步解调和包络检波后信号的波形，并显示调制后的频谱。

#### 6) 界面参考

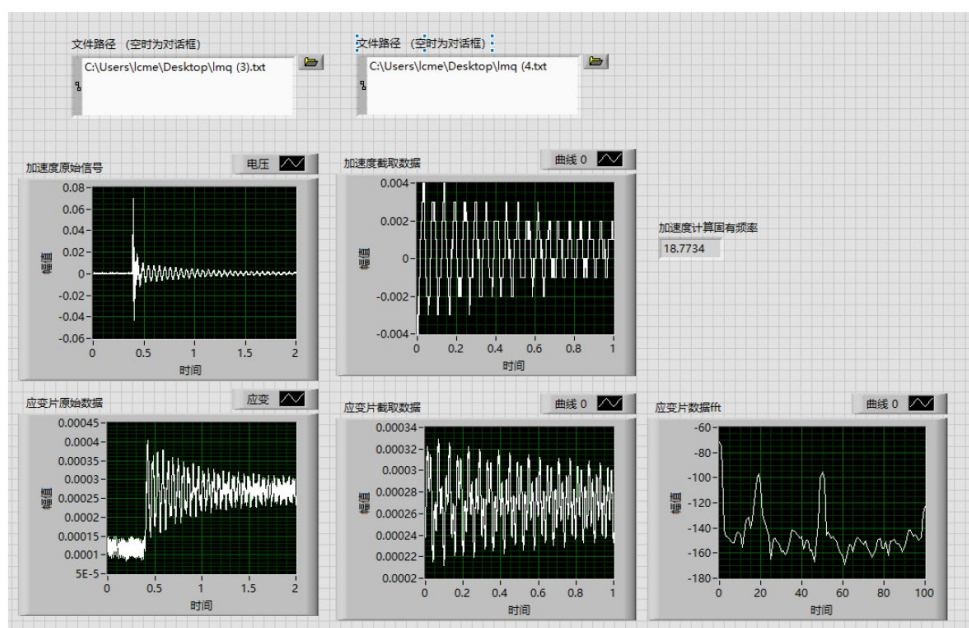


图 4 程序完成后界面 (仅供参考)

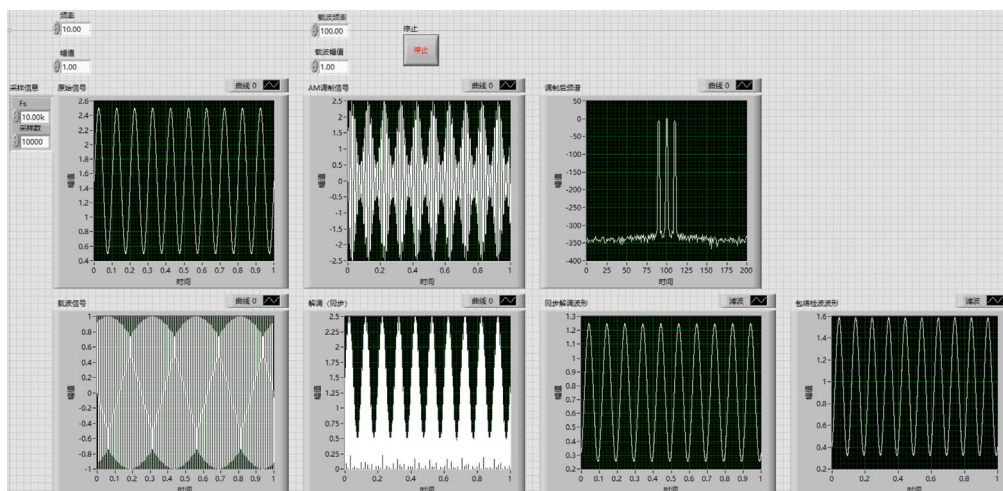
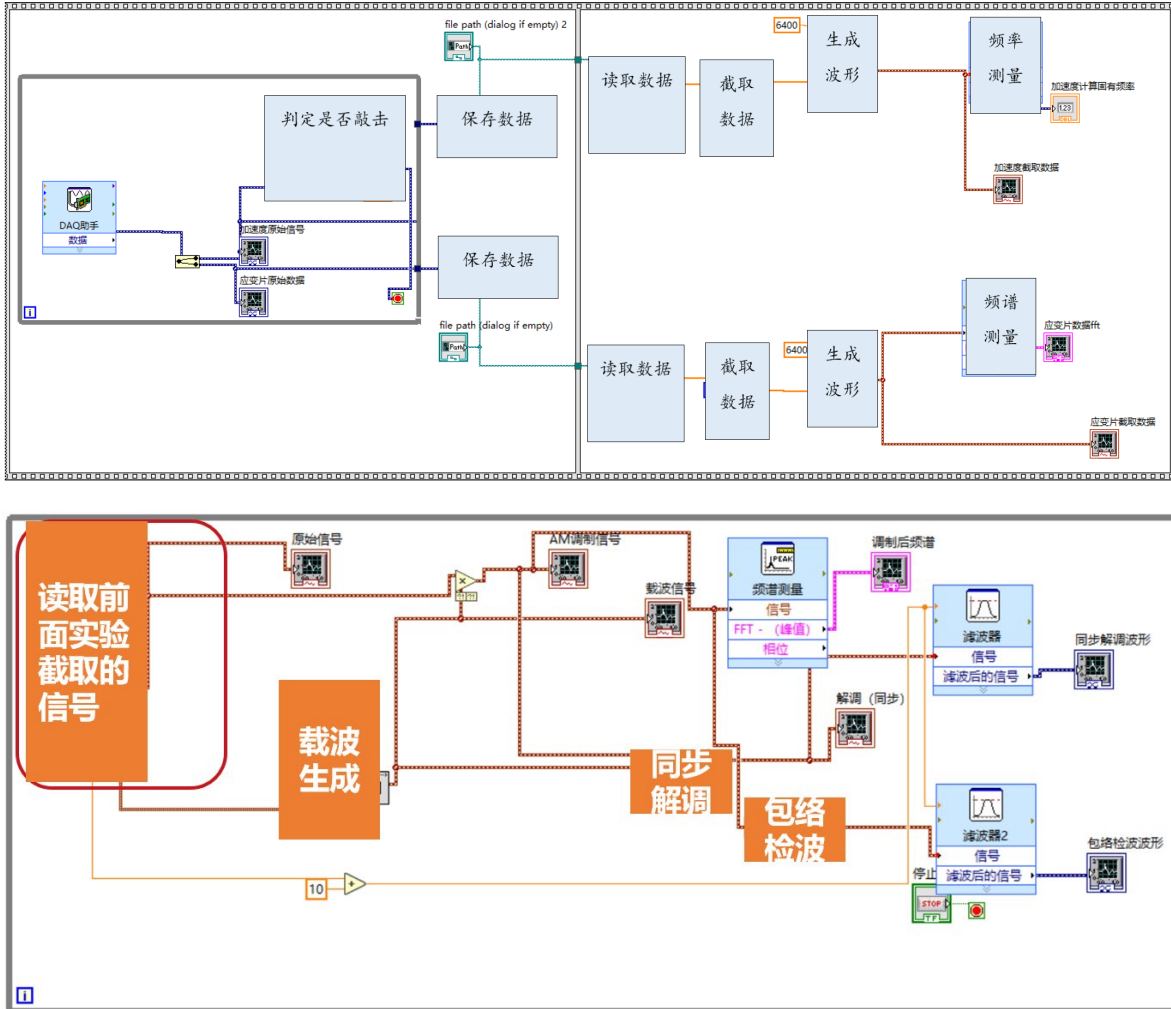


图 5 调制解调前面板 (仅供参考, 图中原始信号请使用实际测量的信号替代)

### 7) 程序编写建议

可能用到的函数 Express——单频测量/频谱测量/峰值测量，写入/读取电子表格（注意设置数据格式为保留 6 位小数），创建波形，拆分一维数组等。

### 8) 程序结构参考



## 四、实验预习要求

- 1) 仔细阅读实验指导书，明确实验要求；
- 2) 预习应变片测量电桥电路，放大电路相关知识；
- 3) 设计完成电桥电路、放大电路；确定电阻阻值的具体选择，计算放大倍数等。

实验课前，要求学生完成：

- 1) 设计全桥或者半桥电路，绘制全桥或半桥连接电路，标注清楚应变片和电阻在桥臂中的位置，应变片的方向（现场实验装置上贴有不同方向的应变片，请见指导书电桥部分介绍），激励电压大小及加载位置。
- 2) 绘制放大电路图，标注放大电路中每个电阻阻值，计算放大倍数。

## 五、实验要求

- 1) 现场完成硬件搭建和程序编写;
- 2) 分别通过加速度信号和应变信号计算得到梁的固有频率。
- 3) 对测量信号进行调制解调，分别显示原始测量信号波形、调制后频谱、同步检波和包络检波后的波形。

## 六、思考题

- 1) 计算阻尼比。
- 2) 本次实验中，我们只测量了悬臂梁的振动频率，如果要准确测量应变片的变形量，要针对测量环节的哪些部分进行进一步的改进，以保证应变电桥测量得到的电压能准确反映应变变形量？