

测试技术实验指导书

专业： _____

姓名： _____

学号： _____

机械工程学院

2005. 12

实验一 常用传感器使用实验

一、实验目的

1. 掌握常用传感器结构、使用方法及其测量系统的组成。
2. 了解传感器及其测量系统的标定方法。
3. 熟悉 CSY₁₀型传感器实验仪的使用方法。

二、实验仪器及设备

1. CSY₁₀型传感器实验仪
2. 双踪示波器

三、实验装置

1. CSY₁₀传感器实验仪

CSY₁₀传感器是集被测体、各种传感器、激励源、显示仪表和处理电路为一体的一个完整的测量系统，它主要由信号源及显示部分、传感器试验台部分和处理变换部分三者组成。信号源由±15V 稳压电源和±2V—±10V 稳压电源、音频振荡器和低频振荡器所组成。显示仪表由 $3\frac{1}{2}$ 位电压/频率表和指针式毫伏表组成，可以在实验中配合使用。试验台配有应变、温度、热电、压电、电容、光纤、霍尔、电感、电涡流、磁电等十种传感器。两只测微头可以在做静态实验时对传感器进行标定。而悬臂梁的结构和激振器又可以产生低频振动，使仪器具有进行动态测量实验的功能。处理、变换电路则包含了电桥、差动放大器、电荷放大器、低通滤波器、移相器、相敏检波器、温度变换器、光电变换器、电容变换器、涡流变换器等。利用这些部件，可以方便地组成数十种不同的实验，这些实验分为三类：静态实验、动态实验和系统实验。如对应变片就至少可以进行这些实验：单臂、半桥及全桥应变电桥实验。

四、实验内容

本实验内容较多，各专业根据具体情况选做其中几个。

(一) 金属箔式应变片：单臂、半桥和全桥的比较

1、实验原理

本实验说明箔式应变片及直流电桥的原理和工作情况。

应变片是最常用的测力传感元件。当用应变片测试时，应变片要牢固地粘贴在测试体表面，当测件受力发生形变，应变片的敏感栅随同变形，其电阻值也随之发生相应的变化。通过测量电路，转换成电信号输出显示。

电桥电路是最常用的非电量电测电路中的一种，当电桥平衡时，桥路对臂电阻乘积相等，电桥输出为零，在桥臂四个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 中，电阻的相对变化率分别为 $\Delta R_1 / R_1$ 、 $\Delta R_2 / R_2$ 、 $\Delta R_3 / R_3$ 、 $\Delta R_4 / R_4$ ，当使用一个应变片时， $\Sigma R = \Delta R / R$ ；当二个应变片组成差动状态工作，则 $\Sigma R = 2 \Delta R / R$ ；用四个应变片组成二个差动对工作，且 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ ， $\Sigma R = 4 \Delta R / R$ 。

2、实验所需部件

直流稳压电源（ $\pm 4\text{V}$ ）、电桥、差动放大器、箔式应变片、测微头、电压表。

3、实验步骤

(1) 差动放大器调零。开启仪器电源，差动放大器增益置 100 倍（顺时针方向旋到底），“+、-”输入端用实验线对地短路。输出端接数字电压表（数字电压表拨到 2V 档），用“调零”电位器调整使差动放大器输出电压为零，然后拔掉实验线。**调零后“调零”电位器位置不要改变。**

(2) 按图(1)将实验部件用实验线连接成测试桥路。桥路中 R_1 、 R_2 、 R_3 和 W_D 为电桥中的固定电阻和直流调平衡电位器， R 为应变片（可任选上、下梁中的一片工作片）。直流激励电源为 $\pm 4\text{V}$ 。

(3) 确认接线无误后开启仪器电源，并预热数分钟。调整电桥 W_D 电位器，使测试系统输出为零。

将测微头装于悬臂梁前端的永久磁钢上，并调节使悬臂梁处于基本水平状态。

(4) 旋动测微头，带动悬臂梁分别作向上和向下的运动。

在水平状态下调节测微头，使输出电压为零，记下测微头的刻度。

旋动测微头，每往下移动 1mm，记录一个差动放大器输出电压值，并记录表中，共测量 7-8mm。

将测微头移到水平位置，并使测试系统输出电压为零，记下测微头刻度，使测微头往上移动，并记录数据。

(5) 依次将图(1)中的电桥固定电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 换成箔式应变片，分别接成半桥和全桥测试系统。

(6) 重复步骤(3) - (4)，测出半桥和全桥输出电压并列表，计算灵敏度。

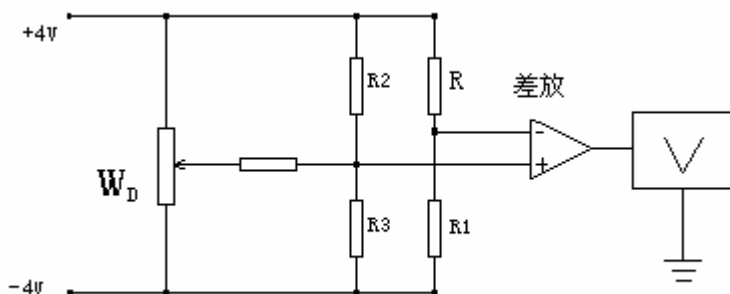
(7) 在同一坐标上描出 $V - X$ 曲线，比较三种桥路的灵敏度 S ，并做出定性

的结论。

位移 mm	0	1	2	3	4	5	6	7
单臂电压 mV								
半桥电压 mV								
全桥电压 mV								

4、注意事项

- (一)在本实验中放大器只能接成差动形式，否则系统不能正常工作。
- (二)流激励电压不能过大，以免应变片造成损坏。



图（1）箔式应变片性能实验

（二）差动螺管式电感传感器（位移和振幅测量）

1、实验原理

利用差动变压器的两个次级线圈和软磁铁氧体组成了差动螺管式电感传感器，衔铁和线圈的相对位置的变化将引起螺管线圈电感值的变化。当用恒流激励传感器，线圈的输出电压就与衔铁的位移有关。

2、所需部件：音频振荡器、电桥、差动放大器、移相器、相敏检波器、电压表、示波器、测微头、电压表、低通滤波器。振幅测量时用低频振荡器。

3、实验步骤

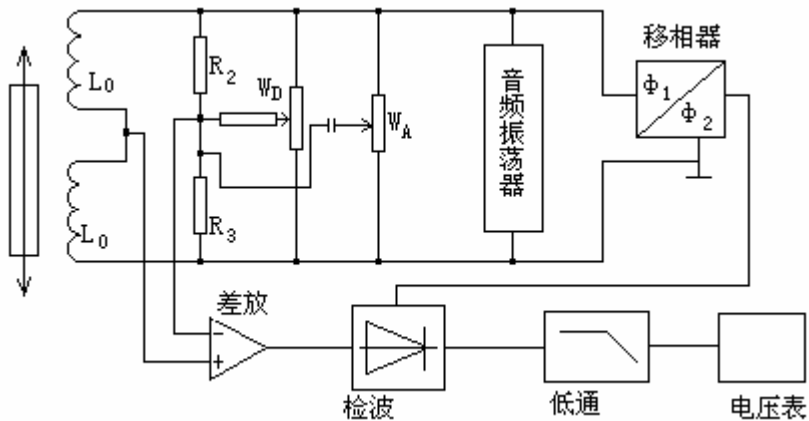
（1）静态测量（位移测量）

①变压器的二个次级线圈组成差动状态，按图（2）接线，音频振荡器 LV 端做为恒流源供电，差动放大器增益适度，差动变压器的两个线圈和电桥上的两个固定电阻 R 组成电桥的四臂，电桥的作用是将

电感变化转换成电桥电压输出。

②旋动测微头使衔铁在线圈中位置居中，此时 $L_0' = L_0''$ ，系统输出为零。

③当衔铁上、下移动时， $L_0' \neq L_0''$ ，电桥失衡系统就有输出，大小与衔铁位移量成比例，相位则与衔铁移动方向有关，衔铁向上移动和向下移动时输出波形相位相差约 180° ，由于电桥输出是一个调幅波，因此必须经过相敏检波器后才能判断电压极性，以衔铁移动位置居中为起点，分别向上、向下各位移 5mm，测微头每旋一周（0.5mm）记录 V，X 值并填入表格，做出 V-X 曲线，求出灵敏度。



图（2）差动螺管式电感传感器实验

X(mm)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
往上											
V(V)											
X(mm)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
往下											
V(V)											

（2）动态测量（振幅测量）

①移开测微头，微调衔铁在支架上的位置，调节电桥电路，使系统输出为零。

② 将低频振荡器输出接到“激振 II”上，给振动台加一交变力，使振动台能上下振动，用示波器观察系统输出是否对称，如不对称则需对电桥、移相器作些调整。

③保持低频振荡器输出幅值不变，改变激振频率 f ，便可得到它的动态测试结果 V_p-p-f 曲线如图（3）。

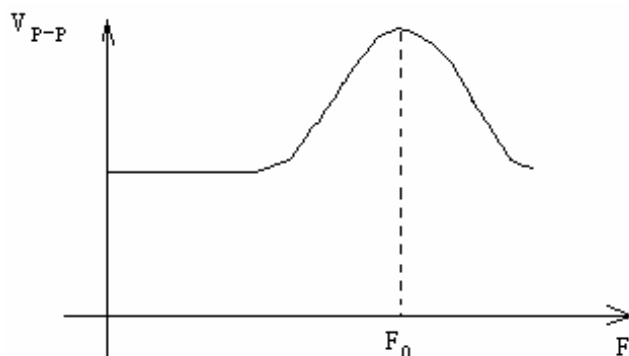


图 (3)

(3) 注意事项

静态位移测量时以衔铁中心位置为基准，振动台上下移动 $\pm 5\text{mm}$ 左右，调节移相器，使电压为最大。如双向不对称，可调 W_A 、 W_B 及移相旋钮直到基本对称。振幅测试时低通的输出应接示波器。

(三) 涡流式传感器的静态标定

1、实验原理

电涡流式传感器由平面线圈和金属涡流片组成，当线圈中通以高频交变电流后，与其平行的金属片上产生电涡流，电涡流的大小影响线圈的阻抗 Z ，而涡流的大小与金属涡流片的电阻率、导磁率、厚度、温度以及与线圈的距离 X 有关。当平面线圈、被测体（涡流片）、激励源已确定，并保持环境温度不变，阻抗 Z 只与 X 距离有关。将阻抗变化经涡流变换器变换成电压 V 输出，则输出电压是距离 X 的单值函数。

2、实验所需部件

电涡流线圈、金属涡流片、电涡流式变换器、示波器、电压表。

3、实验步骤

①安装好电涡流线圈和金属涡流片，注意两者必须保持平行。安装好测微头，将电涡流线圈接入涡流变换器输入端（图 4）。涡流变换器输出端接电压表 20V 档。

②开启仪器电源，用测微头将电涡流线圈与涡流片分开一定距离，此时输出端有一电压值输出。用示波器接涡流变换器输入端观察电涡流传感器的高频波形，信号频率约为 1MHz。

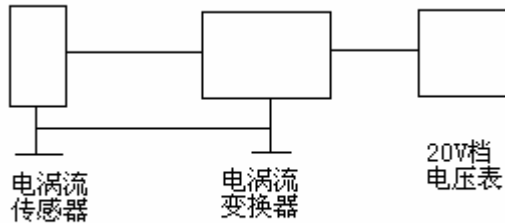
③用测微头带动振动平台使平面线圈完全贴紧金属涡流片，此时涡流变换器输出电压为零。涡流变换器中的振荡电路停振。

④旋动测微头使平面线圈离开金属涡流片，从电压表开始有读数起，每位移 0.25mm 记录一个读数，并用示波器观察变换器的高频振荡波形。将 V 、 X 数据填入下表，作出 V - X 曲线，指出线性范围，求出灵敏度。

位移(mm)	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
电压(V)										

4、注意事项

当涡流变换器接入电涡流线圈处于工作状态时，接入示波器会影响线圈的阻抗，使变换器的输出电压减小。或是使传感器在初始状态有一死区。



图(4) 电涡流实验连线图

(四) 被测材料对电涡流传感器特性的影响

1、实验目的：

通过实验说明不同的材料对电涡流传感器特性的影响。

2、实验所需部件：

电涡流线圈、金属涡流片、电涡流变换器、测微头、电压表、铜、铝、铁涡流片。

3、实验步骤：

①按上一实验方法安装好传感器，开启电源。更换不同的被测材料，分别对铁、铜、铝被测体进行测量，记录数据，在同一坐标上做出V—X曲线。

②分别找出各被测体的线性范围、灵敏度、最佳工作点，并进行比较。

X (mm)								
V 铝 (V)								
V 铁 (V)								
V 铜 (V)								

③从实验得出结论：被测材料不同时灵敏度和线性范围都不同，必须分别进行标定。

(五) 电容式传感器的特性

1、实验目的

掌握电容式传感器的工作原理和测量方法。

2、实验原理

电容式传感器有多种形式。本仪器中是差动变面积式。传感器由两组定片和一组动片组成。当安装于振动台上的动片上、下改变位置，与两组静片之间的重叠面积发生变化，极间电容也发生相应变化，成为差动电容。如将上层定片与动片形成的电容为 C_{x1} ，下层定片与动片形成的电容定为 C_{x2} ，当将 C_{x1} 与 C_{x2} 接入桥路作为相邻两臂时，桥路的输出电压与电容量的变化有关，即与振动台的位移有关。

3、实验所需部件

电容传感器、电容变换器、差动放大器、低通滤波器、低频振荡器、测微头。

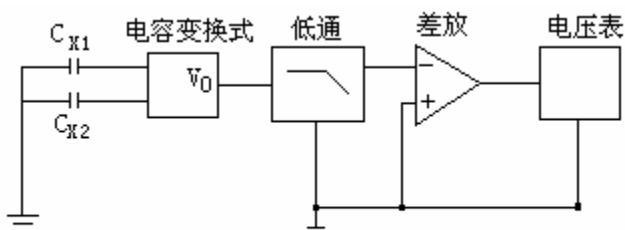


图 (5) 电容传感器实验

4、实验步骤

①按图 (5) 接线，电容变换器和差动放大器的增益适中。

②装上测微头，带动振动台位移，使电容动片位于两静片中，此时差动放大器输出应为零。

③以此为起点，向上或向下位移动片，每次 0.5mm，直至动片与一组静片全部重合为止。记录数据，并做出 V—X 曲线，求得灵敏度。

X(mm)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
往上											
V(V)											
X(mm)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
往下											
V(V)											

④低频振荡器输出接“激振 II”端，移开测微头，适当调节频率和振幅，使差放输出波形较大但不失真，用示波器观察波形。

5、注意事项

①电容动片与两定片之间的片间距离必须相等，必要时可稍做调整。位移和振动时均不可有擦片现象，否则会造成输出信号突变。

②如果差动放大器输出端用示波器观察到波形中有杂波，请将电容变换器增益进一步减小。

(六) 光纤位移传感器----位移测量

1、实验原理

反射式光纤位移传感器的工作原理如图(6)所示，光纤采用Y型结构，两束多模光纤一端合并组成光纤探头，另一端分为两束，分别作为接收光纤和光源光纤，光纤只起传输信号的作用。当光发射器发生的红外光，经光源光纤照射至反射体，被反射的光经接收光纤传至光电转换元件，光电转换元件将接收到的光信号转换为电信号。其输出的光强决定于反射体距光纤探头的距离，通过对光强的检测而得到位移量。

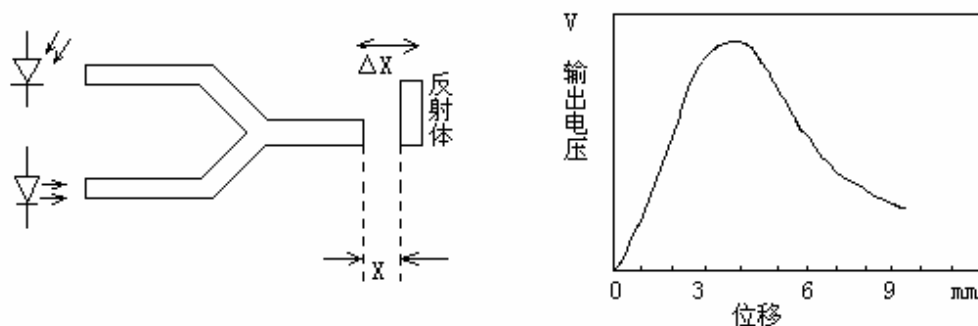


图6 反射式光纤位移传感器原理及输出特性曲线

2、实验所需部件

光纤、光电转换器、光电变换器、低频振荡器、示波器、电压表、支架、反射片、测微头。

3、实验步骤

①观察光纤结构：本仪器中光纤探头为半园型结构，由数百根光导纤维组成，一半为光源光纤，一半为接收光纤。

②将原装电涡流线圈支架上的电涡流线圈取下，装上光纤探头，探头对准镀铬片反射片（即电涡流片）。

③振动台上装上测头，开启电源，光电变换器 V_0 端接电压表。旋动测微头，带动振动平台，使光纤探头端面紧贴反射镜面，此时 V_0 输出为最小。然后旋动测微头，使反射镜面离开探头，每隔 0.50mm 取一 V_0 电压值填入下表做出 $V-X$ 曲线。

X(mm)	0	0.50	1.0	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
V(V)												

得出输出电压特性曲线如图(6)所示,分前坡和后坡,通常测量是采用线性较好的前坡。

4、注意事项

- (一)光电变换器工作时 V_0 最大输出电压以 2V 左右为好,可通过调节增益电位器控制。
- (二)实验时请保持反射镜片的洁净与光纤端面的垂直度。
- (三)工作时光纤端面不宜长时间直照强光,以免内部电路受损。
- (四)注意背景光对实验的影响。
- (五)光纤勿成锐角曲折。

(七) 霍尔传感器的应用----电子秤

1、实验目的

了解霍尔式传感器的结构,工作原理,学会霍尔传感器的实际应用。

2、实验原理

霍尔式传感器是由两个环形磁钢组成梯度磁场和位于梯度磁场中的霍尔元件组成。当霍尔元件通以恒定电流时,霍尔元件就有电势输出。霍尔元件在梯度磁场中上、下移动时,输出的霍尔电势 V 取决于其在磁场中的位移量 X ,所测得霍尔电势的大小便可获知霍尔元件的静位移。

3、实验所需部件

直流稳压电源(2V),电桥、霍尔传感器、差动放大器、电压表、振动圆盘、环形砝码。

5、实验步骤

- ①按图(7)接线,开启电源,调节测微头和电桥 W_0 ,使差放输出为零。上、下移动振动台,使差放正负电压输出对称。系统灵敏度尽量大。
- ②以振动圆盘作为称重平台,逐步放上砝码,依次记下表头读数,填入下表,并做出 $V-W$ 曲线。
- ③移走称重砝码,在平台上另放置一未知重量之物品,根据表头读数从 $V-W$ 曲线中求得其重量。

W (g)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
V(V)											

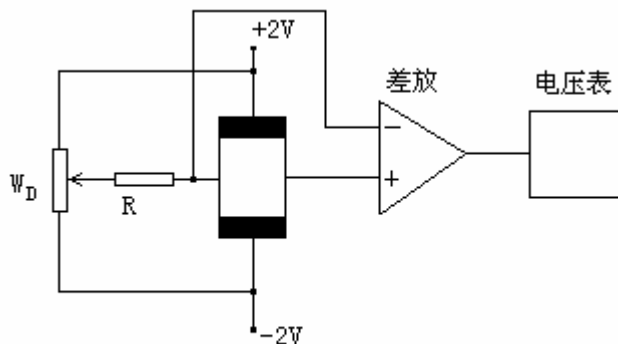


图7 霍尔式传感器实验连线图

6、注意事项

- (一)霍尔式传感器在做称重时只能工作在梯度磁场中，所以砝码和被称重物都不应太重。
- (二)环形砝码应置于平台的中间部分，避免平台倾斜。

(八) 磁电式传感器

1、实验目的

通过实验说明磁电式传感器的结构、原理、应用。

2、实验原理

磁电式传感器是一种能将非电量的变化转为感应电动势的传感器，所以也称为感应式传感器。根据电磁感应定律， ω 匝线圈中的感应电动势 E 的大小决定于穿过线圈的磁通 Φ 的变化率：
$$e = -\omega \frac{d\Phi}{dt}$$
。仪器中的磁电式传感器由动铁与感应线圈组成，永久磁钢做成的动铁产生恒定的直流磁场，当动铁与线圈有相对运动时，线圈与磁场中的磁通交链产生感应电势， e 与磁通变化率成正比，是一种动态传感器。

3、实验所需部件

磁电式传感器、低频振荡器、激振器、涡流式传感器、涡流变换器、双线示波器、差动放大器。

4、实验步骤

- ① 低频振荡器接“激振 I”，磁电式端口接差动放大器两输入端，差动放大器输出端接示波器。开启电源，调节振荡频率和幅度，观察输出波形。
- ② 安装好电涡流式传感器，因为不要求进行位置测量，所以平面线圈与金属涡流片的相对位置可以高些，以振动时不相碰为宜。
- ③ 双线示波器的通道1和通道2分别接差动放大器输出端和涡流变换器的输出端，调节低频振荡器的振动频率和振幅，观察比较两波形。通过观察，可以得出结论：磁电式传感器对速度敏感，电涡流式传感器则对位置敏

感，速度的变化对它的影响不大。

④ 将“激振 I”与“磁电”端接线互换，接通低频振荡器，观察差动放大器的输出波形。与原磁电式传感器波形比较。可以得出结论，磁电式传感器是一种磁→电、电→磁转换的双向式传感器。

(九) 压电加速度式传感器

1、实验目的

了解压电加速度计的结构、原理和应用。

2、实验原理

压电式传感器是一种典型的有源传感器（发电型传感器）。压电传感元件是力敏感元件，在压力、应力、加速度等外力作用下，在电介质表面产生电荷，从而实现非电量的电测。

3、实验所需部件

压电式传感器、电荷放大器（电压放大器）、低频振荡器、激振器、电压/频率表、示波器。

4、实验步骤

① 观察了解压电式加速度传感器的结构：由双压电陶瓷晶片、惯性质量块、压簧、引出电极组装于塑料外壳中。

② 按图 8 接线，低频振荡器输出接“激振 II”端，开启电源，调节振动频率与振幅，用示波器观察低通滤波器输出波形。

③ 当悬臂梁处于谐振状态时振幅最大，此时示波器所观察到的波形 V_{p-p} 也最大，由此可以得出结论：压电加速度器是一种对外力作用敏感的传感器。

5、注意事项

做此实验时，悬臂梁振动频率不能过低，否则电荷放大器将无输出。

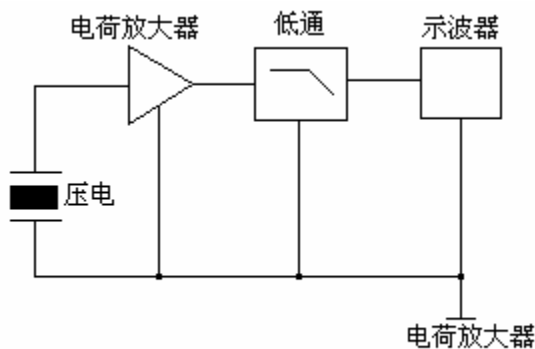


图8 压电式传感器实验

实验二 信号分析实验

一、实验目的

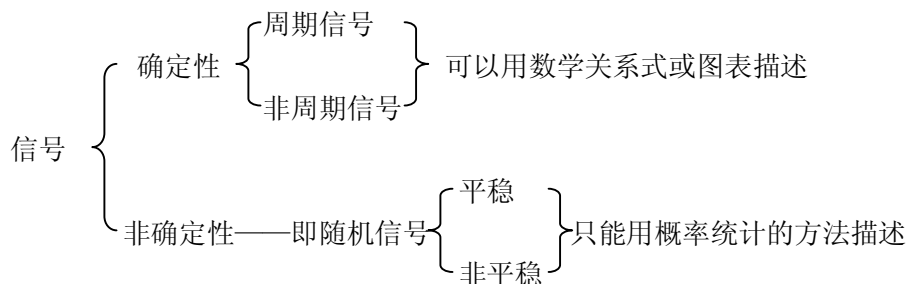
- 1.掌握信号的时域和频域的描述方法，建立明确的信号的频谱概念；
- 2.掌握频谱分析和相关分析的基本原理和方法，了解功率谱分析原理及其应用；
- 3.熟悉虚拟信号分析仪器库的使用。

二、实验仪器及设备

- 1.微型计算机及虚拟信号分析仪器库；
- 2.信号发生器或激振信号源；
- 3.虚拟测试振动与控制实验装置。

三、实验原理

(一)、信号的分类:



(二)、信号的时域分析:

信号以 t 为自变量，以其瞬时取值 $x(t)$ 为因变量进行描述与分析，称时域分析。

1、时域统计分析

(1) 信号的均值 u_x

$$u_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

均值 u_x 是信号 $x(t)$ 在整个时间坐标的积分平均，它表示信号的常值分量或直流分量，是静态量，通常用 u_x 代替 u_x

(2) 信号的方差: σ_x^2

$$S_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - u_x]^2 dt$$

方差 σ_x^2 是描述信号的波动范围，是动态量。

标准差 $S_x = \sqrt{S_x^2}$ 即方差的正平方根。

(3) 信号的均方值:

$$Y_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt$$

Y_x^2 描述信号的强度，表示信号的平均功率。

(4) 概率密度函数:

$$P(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P[x < x(t) \leq x + \Delta x]}{\Delta x}$$

概率密度函数提供了随机信号沿幅值域分布的信息，是随机信号的主要特征参数之一。

(5) 概率分布函数

$$F(x) = \int_{-\infty}^x P(x) dx$$

概率分布函数是瞬时值 $x(t)$ 小于或等于某值 X 的概率，又称累积概率。

表示 X 落在某一区间的概率。

2. 直方图分析:

概率直方图: 以幅值大小为横坐标，以幅值的概率为纵坐标来表示。

3. 时域相关分析

相关函数描述了两个信号之间的关系或其相似程度，(即互相关函数)，也可以描述同一信号的现在与过去值的关系(自相关)。

(1) 自相关函数

$x(t)$ 为某各态历经随机过程的一个记录样本，自相关函数 $R_x(t)$ 是描述信

号 $x(t)$ 在 t 时刻与 $(t+T)$ 时刻的相关程度。

$$R_x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+t)dt$$

自相关函数的性质:

①自相关函数是 τ 的偶函数。即: $R_x(t) = R_x(-t)$

② $\tau=0$ 时, $R_x(t)$ 最大, 此时, $R_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt = y_x^2$

③周期信号的自相关函数, 仍是周期信号, 但不具有原有信号的相位信息。

④ $R_x(0) \geq R_x(t)$, 即在 $\tau=0$ 处取峰值, 相关程度最高。

(2)互相关函数

信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的互相关函数定义为:

$$R_{xy}(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^T x(t)y(t+t)dt$$

互相关函数的性质:

①互相关函数不是偶函数: $R_{xy}(t) = -R_{yx}(t)$

② $R_{xy}(t)$ 通常不在 $\tau=0$ 处取峰值, 其峰值偏原点的位置为 t_d , 它反映了两

信号相互有 t_d 时移时, 相关程度最高。

③两个同频的周期信号其互相关函数仍是周期信号并且保留这两个信号的园频率 ω , 对应的幅值以及相位差的信号。

④两个非同频周期信号互不相关, 即 $R_{xy}(t)=0$, 即均值为 0 的两个统计独立的随机信号 $x(t)$ 和 $y(t)$, 其 $R_{xy}(t)=0$

(三)信号的频域分析

频域分析——在频率域中对信号的分析, 即以频率为横坐标的分析。

频谱分析——以频率为横坐标对信号的幅值和相位进行分析; 包括幅值谱和相位谱。

①幅值谱:

a: 周期信号的频谱: (I) 离散性; (II) 谐波性; (III) 收敛性

b: 非周期信号的频谱——连续频谱

②功率谱分析

a: 自功率谱密度函数 $S_x(f)$, 简称自谱

定义: 如: $u_0 = 0, R_x(t \rightarrow \infty) = 0$

$$\text{则 } S_x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$S_x(f)$ 与 $R_x(t)$ 是付立叶变换对, $\therefore S_x(f)$ 中包含着 $R_x(t)$ 的全部信息

$S_x(f)$ 为实偶函数

$S_x(f)$ 曲线下和频率轴所包围的面积就是信号的平均功率, 则 $S_x(f)$ 就表示信号的功率密度沿频率轴的分布, 即 $S_x(f)$ 为自功率谱密度函数, $S_x(f)$ 反映信号的频域结构, 且反映的是信号幅值的平方, 故其频域结构更明显;

b: 互谱密度函数

$$\text{如: } \int_{-\infty}^{\infty} |R_{xy}(t)| dt < \infty$$

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$S_{xy}(f)$ 称为信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的互谱密度函数, 简称互谱

FFT 变换对:

$$R_{xy}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(f) e^{j2\pi ft} df$$

$S_{xy}(f)$ 保留了 $R_{xy}(t)$ 中的全部信息。

特点: ①互谱分析不仅含有幅频特性而且含有相频特性

②互谱分析可排除噪声的影响。

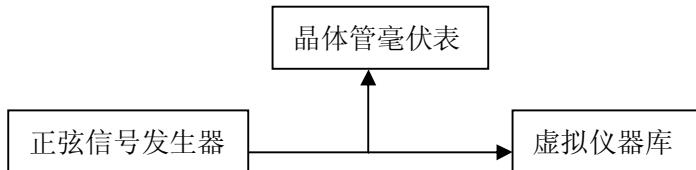
四. 实验方法

(一) 信号的时域分析:

1. 实验步骤:

a: 开启微型计算机中的虚拟仪器库;

b: 将多功能信号发生器的正弦信号输出电压为 1V, 接入微型计算机中的虚拟仪器库, 如图所示;



c: 在虚拟仪器库的波形显示器中观察其波形, 选择好采样频率、幅值, 示波类型为单通道, 按下“记录”按钮, 将所需的信号记录存盘供以后分析调用;

d: 按下左下角的“单”按钮, 进入单通道 FFT 分析仪, 在单通道 FFT 分析仪中, 按下左下角的“离线”, 按提示将上步所存的资料调出, 进行时域分析: 将鼠标移到“1”号旋钮(时域和频域), 按左键到 1-1 位置, 显示时域波形, 按右键指针指向 1-2 位置显示信号的特征表(包括最大值、最小值、峰峰值、均值、方差、有效值), 指针在 1-3 位置显示概率直方图, 指针在 1-4 位置显示信号的概率分布函数, 将以上资料及图形记录到实验报告书上;

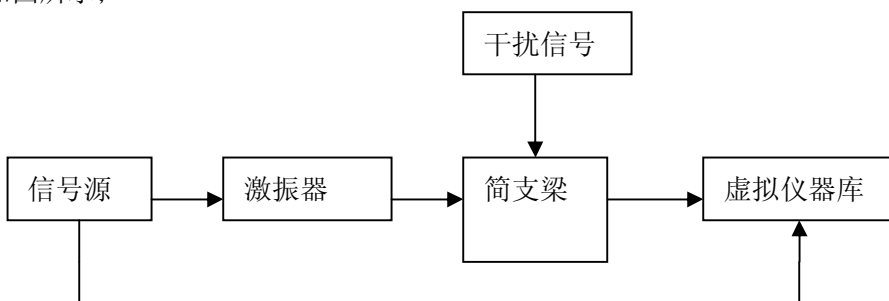
e: 改变信号发生器发出的信号, 重复 C, D 步骤, 分别做方波、三角波、正弦+随机信号、窄带随机信号、宽带随机信号、矩形窗信号的时域分析, 记录资料及图形;(因时间关系, 可选做其中一至二个)

f: 将鼠标移到“2”号旋钮(细化和相关), 按左键到 2-7 位置观察表 1 中各信号的自相关函数, 并记录到实验报告书上。

g: 利用振动与控制实验装置做互相关实验;

① 激振信号源输出接电动式激振器, 用激振器对简支梁激振;

② 将激振信号源输出接入虚拟式 FFT 双通道分析仪 1 通道, 速度传感器输出速度信号经测振仪接入双通道 FFT 分析仪的 2 通道, 虚拟仪器进入双通道分析仪, 如图所示;



③ 调节信号源频率, 使简支梁振幅达到最大, 按下屏幕左上方的“在线”按钮, 选择好采样频率, 通道, 采样长度后, 按“确认”键, 记录信号源及简支

梁振动的时域波形。

④ 分别按下“相关分析”中的 A 自相关、B 自相关、互相关，观察信号源、简支梁的自相关函数，分析信号源与简支梁的互相关函数的特点；

⑤ 用小锤快速轻敲简支梁，使它作为一个干扰信号作用于简支梁上，重新“在线”采集，记录信号源及简支梁振动的时域波形；

⑥ 重复第④步，观察信号源、简支梁的自相关函数以及它们的互相关函数图形，并以无干扰时的对比，记录到实验报告书上。

（二）信号的频域分析

1、进入单通道 FFT 分析仪，按“离线”按钮调出时域分析时所存信号，分别对正弦信号、方波、三角波、随机信号进行幅值谱、功率谱分析。“1-5”显示功率谱，“1-6”显示幅值谱。观察周期信号频谱的离散性、谐波性、收敛性的特点。观察非周期信号频谱的特点。记录到实验报告书上。

2、进入双通道 FFT 分析仪，按“离线”按钮，调出时域分析时的互相关实验中的所存信号，分别对无干扰时、有干扰时的信号源与简支梁进行互谱分析。

3、按下“互谱分析”中的输入自谱、响应自谱及互谱实部、互谱虚部，观察并分析互功率谱的性质。

4、进一步对“互相关”、“互功率谱”分析的认识。进入双通道分析仪，分别调出机内已存信号 SN791（同频周期信号）、SN792（不同频周期信号）SN794（方波与其基波和 2 次谐波组成的图形）、SN82（方波与其 3 次谐波），观察信号的互相关、输入自谱、响应自谱、互谱实部、互谱虚部。总结互相关分析、功率谱分析的特点。

实验三 振动测量

一、 实验目的

- 1、掌握测试装置动态特性的系统组成及测量方法；
- 2、掌握常用的两种传感器的工作原理、使用以及其配套仪器的使用；
- 3、掌握用总幅值法测定简支梁无阻尼固有频率 f_0 和阻尼比的方法。

二、 实验仪器及设备

简支梁、二种传感器及其配套仪器（由学生自行选择）

三、 实验要求

本实验是一个设计性实验，给出一个简支梁系统，要求学生自行设计一个简单的检测系统，用两种不同的传感器测量出简支梁的固有频率、振型、模态阻尼、幅频特性和相频特性曲线。包括传感器的选取、安装、信号的分析与处理。

四、 实验原理

本实验用频率响应法对简支梁进行振动测量，即由信号发生器发出一个频率可调的正弦信号，通过功率放大器、激振器对简支梁进行激振，并由学生自行选用磁电式速度计、压电式加速度计、或者电感传感器及其对应的配套仪器对简支梁的振动量进行动态测量，从而确定简支梁的固有频率、振型、模态阻尼、幅频特性和相频特性曲线。

本实验的模型是一矩形截面简支梁（如图），它是一无限自由度系统。从理论上说，它应有无限个固有频率和主振型，在一般情况下，梁的振动是无穷多个主振型的迭加。如果给梁施加一个合适大小的激扰力，且该力的频率正好等于梁的某阶固有频率，就会产生共振，对应于这一阶固有频率的确定的振动形态叫做这一阶主振型，这时其它各阶振型的影响小得可以忽略不计。

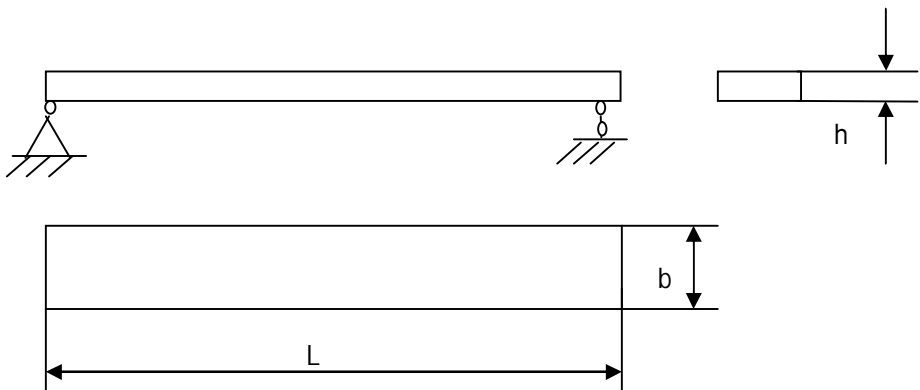


图 3-1 简支梁模型

由弹性体振动理论可知，计算简支梁固有频率理论解为：

$$f_0 = 49.15 \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{AP}} \quad \text{Hz}$$

式中，L—简支梁长度（cm）；

E—材料弹性系数（kg/cm²）；

A—梁横截面积（cm²）

P—材料比重（kg/cm³）

J—梁截面弯曲惯性矩（cm⁴）

对矩型截面，弯曲惯性矩为

$$J = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{cm}^4)$$

式中：b—梁横截面宽度（cm） h—梁横截面高度（cm）

本实验取

$$L=60 \text{ cm} \quad b=5 \text{ cm} \quad h= 0.8 \text{ cm} \quad E=2 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2 \quad p=0.0078 \text{ kg/cm}^3$$

各阶固有频率之比：

$$f_1: f_2: f_3: f_4: \dots = 1: 2^2: 3^2: 4^2: \dots$$

理论计算可得简支梁的一、二、三阶固有频率和振型下图 3-2 所示：

P11)

从振动理论得知(参看机械制造中的测试技术基础,严普强\黄长艺主编

从位移幅频特性曲线可以估计阻尼比。

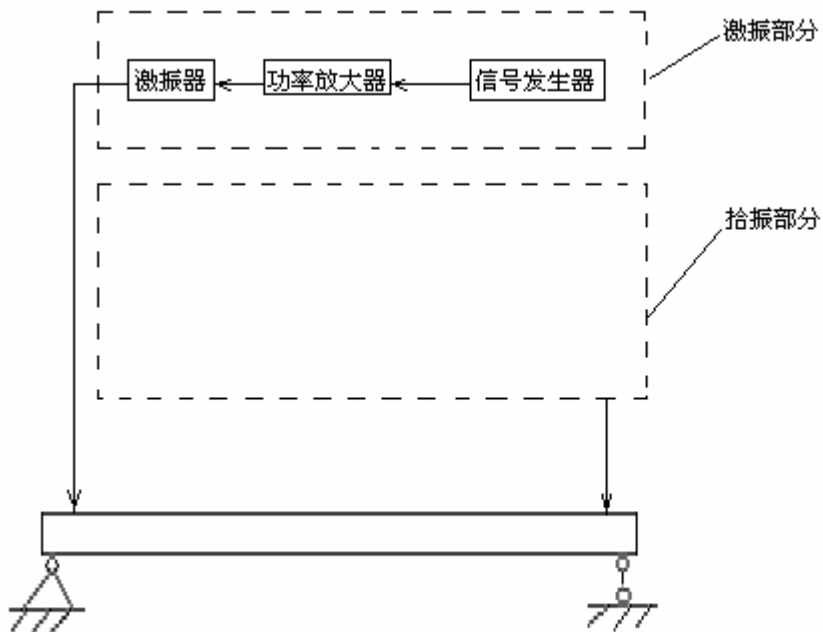
小阻尼时，可以直接用共振峰对应的频率 f_r 来近似估计固有频率 f_n

如果在共振峰的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 处，作一根水平线交幅频特性曲线于 a、b 二点，

其对应频率为 f_1 、 f_2 ，则阻尼比的估计值为

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_n}$$

五、 测量方框图（请在下图的拾振部分中画出你出设计的框图）



五、实验前的准备工作

- (1) 上图已给出振动系统激振部分, 请同学们在上图中画出振动系统的拾部分即所选用的两种传感器及其配套设备的连线图。
 - (2) 指导老师检查合格后方可按图接线, 接线前应将所有设备的电源关闭。接好线后请指导老师检查后方可通电。
- (一) XD1 信号发生器 (或 XD2 信号发生器) 的使用
- (1) 将电源接入 220V 电源, 地线应接好, 以免机壳带电。仪器应置于电压输出级。
 - (2) 开机前应将电位器旋钮旋到最小, 以防电流过大。开机后待功率放大器过载灯灭, 再逐渐加大输出幅度。
 - (3) 若想得到足够的稳定度, 衰减器应置于 0dB, 负载置于 60dB; 电压表拨向内侧。开机逐渐加大电位器, 使电压表指示于 1V 时, 预热三十分钟后再使用。
- (二) GF-10 功率放大器的使用
- (1) 工作开关置于“恒流”档;
 - (2) 将增益调节旋钮“逆时针”旋到最小位置;

- (3) 接通信号源，打开电源开关，调整工作电流到 100mA（满量程 1A）；
- (4) 操作过程中，若发现削波灯亮时，应马上停止信号幅度再增加，以免意外事故。

（三）压电式加速度计的使用

因压电式加速度计的电缆弯曲，缠绕以及大幅度的晃动，可以使噪声电压增大，因此要用胶布粘住电缆。

（四）DHF-6 电荷放大器的使用

- 1、按所用压电式加速度计，将输入电荷灵敏度开关 PC/g 置于所需位置。
- 2、按所用的压电式加速度计电荷灵敏度，将电荷灵敏度范围开关拨到所需位置。
- 3、输出电压灵敏度应尽量要高些，使输出电压不小于 1V，若过 1V 时，过 1V 指示灯亮。
- 4、输出电压灵敏度 V/g，通过增益开关进行选择，以中间的七个灯球作为指示标志。
- 5、放大器前面板上采用两个不同插座，当采用某一插座时，另一插座应拧上屏蔽螺帽。
- 6、开电源后，预热十五分钟，方可使用。

（六）CD-2 磁电式加速度计与 JZ-1 激振器的使用

安装时，应将速度计（或激振器）的顶杆与振动体相接触，并使顶杆压至红线标记处，其外壳应用夹头夹住，夹头应安装在与大地紧固的不振动的支架上。

五、实验步骤

- 1、打开各仪器的电源开关。
- 2、选择 XD-1（XD-2）的工作频率，其方法为：下方六个按键开关做频段的选择；上方三个旋钮是按十进制原则细调频率。
- 3、根据计算出的简支梁的理论固有频率，调节信号发生器发出正弦信号的频率，使简支梁产生共振，找出简支梁的实际固有频率。并在实际固有频率的前后各测出几点的振幅、速度、加速度，做出相应的幅频特性、相频特性。将数据记录在实验报告

书上；

4、指导老师检查测量数据；

5、关闭各电源

4、记录

1. 简支梁 b 、 h 、 l 各尺寸： $b=5\text{cm}$, $h=0.8\text{cm}$, $l=60\text{cm}$ ；

2. _____型速度计；

_____型加速度计，电荷灵敏度_____ (PC/g)；

信号发生器的输出电压_____V；

功率放大器的输出电流_____mA；

3. 激振点与拾振点的位置（画图表示）；

4. 实验数据记录表中（见实验报告书）。