

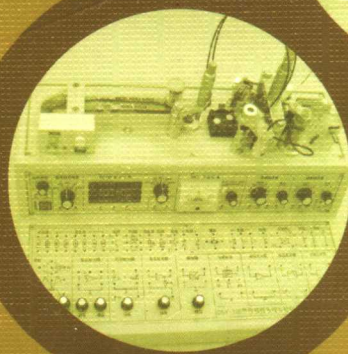


- 西南交通大学“323实验室工程”系列教材
- 机电测控系列实验教材

工程测试实验教程

主编 傅攀 曹伟青

主审 西南交通大学实验室及设备管理处



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

· 教育部批准“卓越工程师教育培养计划”重点教材
· 教育部批准“卓越工程师教育培养计划”重点教材

工程测试实验教程

第二版

主编 张纪成 副主编 张纪成 张纪成



机械工业出版社

TB22/34

2007

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材
机电测控系列实验教材

工程测试实验教程

主编 傅 攀 曹伟青

主审 西南交通大学实验室及设备管理处

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是西南交通大学全面实施“323 实验室工程”中,机电测控实验教学中心编写的系列实验教材之一。全书共 6 章,内容包括:CSY 传感器系列基础型、设计型实验;虚拟实验系统的软、硬件介绍;转子实验台实验;环形输送线实验台实验;距离与位移检测实验台实验以及其他综合创新型实验。

本书可以作为高等学校工科院校机械类、测控类、热能类及车辆类等专业的实验教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程测试实验教程 / 傅攀, 曹伟青主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2007.10

(西南交通大学“323 实验室工程”系列教材. 机电测控系列实验教材)

ISBN 978-7-81104-813-1

I. 工… II. ①傅… ②曹… III. 工程测量—实验—高等学校—教材 IV. TB22-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 159939 号

西南交通大学“323 实验室工程”系列教材·机电测控系列实验教材

工 程 测 试 实 验 教 程

主 编 傅攀 曹伟青

*

责任编辑 刘婷婷 杨勇

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 8.625

字数: 214 千字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-813-1

定价: 12.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

实验教学是培养创造性人才,实施素质教育和提高教学质量不可缺少的重要实践环节,为了进一步加强实验教学和实验教学条件的建设,更好地为深化教育改革和全面实施素质教育服务,同时也为了进一步培养学生的动手能力、实践能力和创新能力,西南交通大学全面实施了“323 实验室工程”实验教学建设。机电测控实验中心是此次建设的重要建设对象之一。

测试技术是机械工程技术中的一门重要的基础科学技术。作为一门新兴的、迅猛发展的学科,测试的基本任务是获取有用的信息并完成处理、显示、记录,其结果可用于控制和诊断。测试技术实验服务于机械学院各专业所需的教学实验,所服务的课程包括“测试技术基础”、“机械电测技术”、“误差理论与数据处理”、“传感器原理及应用”、“无损检测技术”、“自动检测技术及仪器”、“振动冲击及噪声测试技术”等。

测试技术类实验的实验设备配置覆盖机械量测试领域里的重要部分,包括传感器、数据采集、数据处理、误差理论、精密计量、无损检测。实验仪器有 CSY 传感器综合实验仪及 DRVI 可重组虚拟仪器平台,包括:数据采集仪、示波器、开关电源以及各类工程测试扩展实验模块。工程检测扩展模块有:转子实验台模块、环行输送线实验模块、无损检测实验模块、距离与位移检测实验模块、超声波位移测量实验模块、悬臂梁实验模块、传感器开放电路实验模块、信号与系统开放电路实验模块等,可以完成应变片、加速度、速度、温度、气体、光电、磁电、光、超声波等传感器的实际检测和应用实验。此外还预留了课程设计和毕业设计的课题,为学生创造了良好的独立自主、综合创新的实验平台和环境。

本书共有 6 章,内容包括:CSY 传感器系列基础型、设计型实验;虚拟实验系统的软、硬件介绍;转子实验台实验;环形输送线实验台实验;距离与位移检测实验台实验以及其他综合创新型实验。

本书可以作为高等学校工科院校机械类、测控类、热能类及车辆类等专业的实验教材,也可供相关专业师生和工程技术人员参考。

限于我们的水平和经验,本书可能存在不少缺点和不足,敬请各位老师和同学批评指正。

编 者

2007 年 8 月

目 录

第一章 传感器综合实验仪实验系列	1
CSY 传感器实验仪简介	1
实验一 金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥的比较	4
实验二 差动变压器（互感式）的特性实验	9
实验三 热电偶的原理及现象	14
实验四 电涡流式传感器的特性实验	17
实验五 霍尔式传感器的特性——直流激励和交流激励	20
实验六 磁电式传感器的性能	22
实验七 压电传感器的动态响应实验	24
实验八 差动变面积式电容传感器的静态及动态特性	26
实验九 光纤位移传感器实验	28
第二章 虚拟实验系统软、硬件平台介绍	30
第三章 转子实验台实验	40
转子实验台简介	40
实验一 加速度传感器振动测量实验	40
实验二 速度传感器振动测量实验	45
实验三 光电传感器转速测量实验	49
实验四 磁电传感器转速测量实验	56
实验五 电涡流传感器轴心轨迹测量实验	60
实验六 转子现场动平衡实验	65
第四章 环形输送线实验台实验	69
环形输送线实验台简介	69
实验一 红外对射传感器传输速度测量实验	69
实验二 色差传感器物体表面颜色识别实验	73
实验三 电涡流开关铁磁性物体检测实验	77
实验四 红外传感器产品计数实验	80
第五章 距离与位移检测实验台实验	84
距离与位移检测实验台简介	84

实验一	距离位移传感器的测量	84
实验二	不同位移传感器的特性测量标定实验	89
实验三	直线运动模块的运动控制实验	95
第六章	其他综合创新型实验	99
实验一	超声波测距实验	99
实验二	力传感器标定及称重实验	103
实验三	霍尔传感器传输速度测量实验	107
实验四	悬臂梁固有频率测量实验	110
实验五	钢管无损检测实验台应用实验	116
实验六	简易传感器制作实验	121
实验七	环形输送线实验台直角坐标机械手物件分拣实验	126
实验八	DRVI 网络化远程实验数据测量方法	128
参考文献		131

第一章 传感器综合实验仪实验系列

CSY 传感器实验仪简介

一、CSY 传感器实验仪简介

CSY 传感器实验仪主要由四部分组成：传感器安装台、显示与激励源、传感器符号及引线单元、处理电路单元。图 1.1 为传感器的实物图。

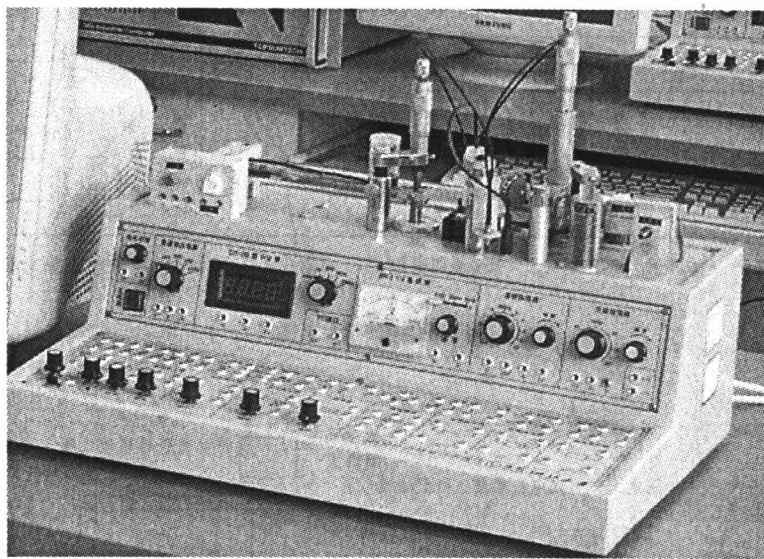


图 1.1 传感器的实物图

1. 传感器安装台部分

双平行振动梁（应变片、热电偶、PN 结、热敏电阻、加热器、压电传感器、梁自由端的磁钢）、激振线圈、双平行梁测微头，光纤传感器的光电变换座、光纤及小电机，电涡流传感器及支座、引线 $\Phi 3.5$ 插孔，霍尔传感器的两个半圆磁钢、振动平台（圆盘）测微头及支架、振动圆盘（圆盘磁钢、激振线圈、霍尔片、电涡流检测片，差动变压器的可动芯子，电容传感器的动片组，磁电传感器的可动芯子）及扩散硅压阻式差压传感器等。

2. 显示及激励源部分

电机控制单元、主电源、直流稳压电源（ $\pm 2 \sim \pm 10 \text{ V}$ 挡位调节）、F/V 数字显示表（可作为电压表和频率表）、毫伏表（ $5 \sim 500 \text{ mV}$ ）、音频振荡器、低频振荡器、 $\pm 15 \text{ V}$ 不可调稳压电源。

3. 实验主面板上传感器符号单元

所有传感器（包括激振线圈）的引线都从内部引到这个单元上的相应符号中，实验时传感器的输出信号（包括激励线圈引入低频激振器信号）按符号从这个单元插孔引线（选配传感器例外）。

4. 处理电路单元

电桥单元、差动放大器、电容变换放大器、电压放大器、移相器、相敏检波器、电荷放大器、低通滤波器、涡流变换器等单元组成。

图 1.2 和图 1.3 为传感器的安装示意图。

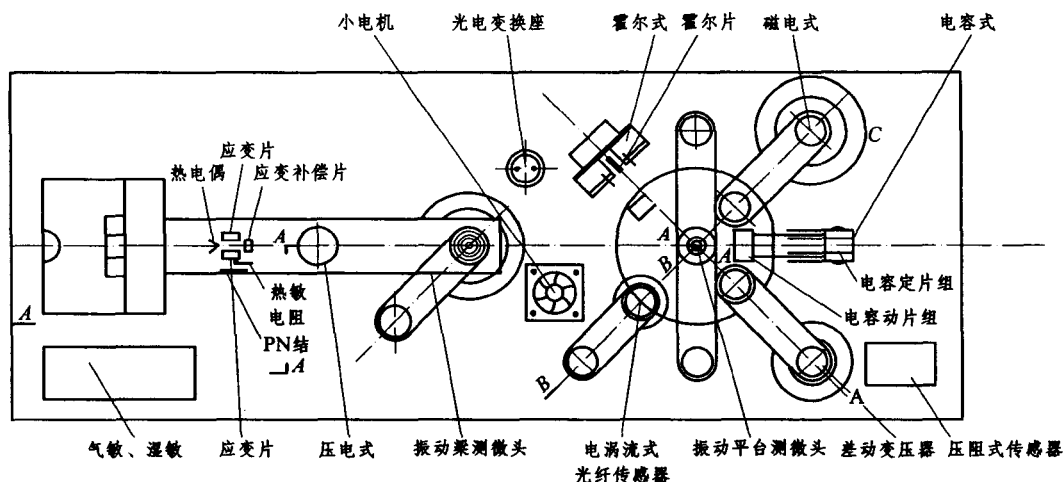


图 1.2 传感器安装示意图 (一)

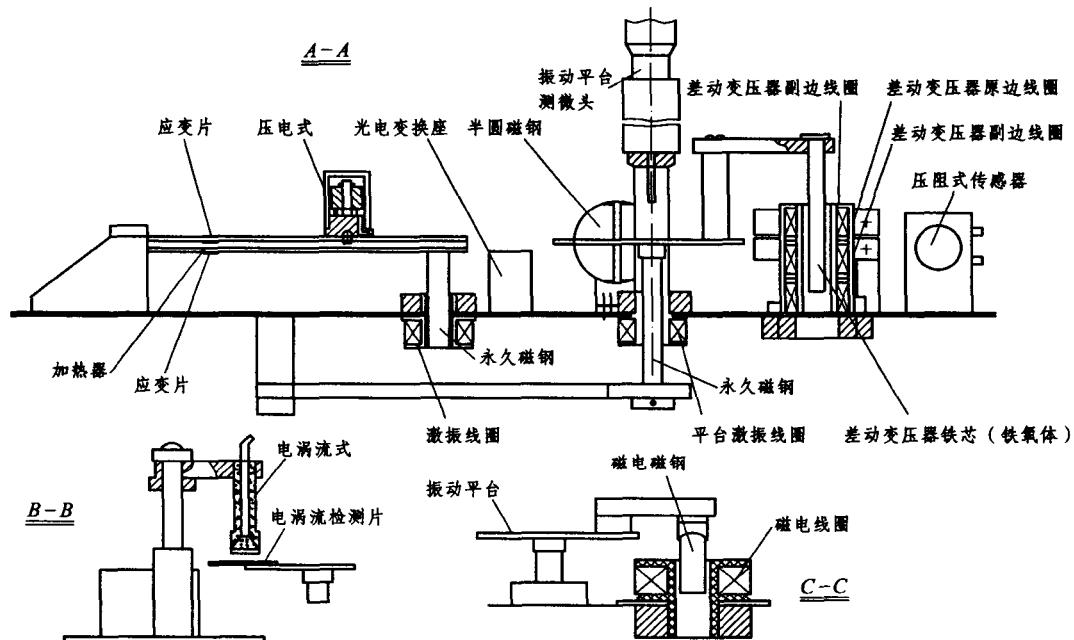


图 1.3 传感器安装示意图 (二)

二、主要技术参数、性能及说明

1. 传感器安装台部分

(1) 差动变压器的量程为 $\geq 5 \text{ mm}$, 直流电阻为 $5 \sim 10 \Omega$, 由一个初级线圈, 二个次级线圈绕制而成的透明空心线圈, 铁芯为软磁铁氧体。

(2) 电涡流位移传感器的量程为 $\geq 1 \text{ mm}$, 直流电阻为 $1 \sim 2 \Omega$, 多股漆包线绕制的扁平线圈与金属涡流片组成。

(3) 霍尔式传感器的量程为 $\geq \pm 2 \text{ mm}$, 直流电阻。激励源端口 $800 \sim 1\,500 \Omega$; 输出端口为 $300 \sim 500 \Omega$ 。

(4) 热电路(热电式)的直流电阻为 10Ω 左右, 由两个铜-康铜热电偶串接而成, 分度号为 T, 冷端温度为环境温度。

(5) 电容式传感器的量程为 $> \pm 2 \text{ mm}$, 由两组定片和一组动片组成的差动变面积式电容。

(6) 压电加速度计由 PZT-5 压电晶片和铜质量块构成。谐振频率 $\geq 10 \text{ kHz}$, 电荷灵敏度 $q > 20 \text{ pc/g}$ 。

(7) 应变式传感器的箔式应变片阻值为 350Ω , 应变系数为 2。

(8) 磁电式传感器的 Φ 为 $0.21 \times 1\,000$, 直流电阻为 $30 \sim 40 \Omega$, 由线圈和动铁(永久磁钢)组成, 灵敏度为 0.5 (V/m) / s 。

(9) 热敏电阻(998 型)为半导体热敏电阻 NTC。温度系数为负, 25°C 时为 $10 \text{ k}\Omega$ 。

(10) PN 结温度传感器。利用半导体 P-N 结良好的线性温度电压特性制成的测温传感器, 能直接显示被测温度。灵敏度为 $-2.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

(11) 光纤传感器由多模光纤、发射、接收电路组成的导光型传感器, 线性范围 $\geq 2 \text{ mm}$ 。红外线发射、接收, 直流电阻: $500 \sim 2\,500 \Omega$, 2×60 股 Y 形、半圆分布。

(12) 压阻式压力传感器的量程为 10 kPa (差压), 供电 $\leq 6 \text{ V}$ 。直流电阻: $V_s^+ - V_s^-$ 端为 $350 \sim 450 \Omega$, $V_o^+ - V_o^-$ 端为 $3 \sim 3.5 \text{ k}\Omega$ 。

(13) 光电传感器(反射型)由光电耦合器和达林顿管集成, 经波形整形输出。

2. 信号及变换

(1) 电桥, 用于组成直流或交流电桥, 提供组桥插座, 标准电阻和交、直流调平衡网络。

(2) 差动放大器通频带为 $0 \sim 10 \text{ kHz}$, 可接成同相、反相、差动结构, 增益为 $1 \sim 100$ 倍的直流放大器。

(3) 电容变换器, 由高频振荡、放大和双 T 电桥组成的处理电路。

(4) 电压放大器增益约为 5 倍, 同相输入, 通频带 $0 \sim 10 \text{ kHz}$ 。

(5) 移相器, 允许最大输入电压 $10 V_{p-p}$, 移相范围 $\geq \pm 20^\circ$ (5 kHz 时)。

(6) 相敏检波器的可检波电压频率 $0 \sim 10 \text{ kHz}$, 允许最大输入电压 $10 V_{p-p}$, 极性反转整形电路与电子开关构成的检波电路。

(7) 电荷放大器为电容反馈型放大器, 用于放大压电传感器的输出信号。

(8) 低通滤波器, 由 50 Hz 陷波器和 RC 滤波器组成, 转折频率为 35 Hz 左右。

(9) 涡流变换器, 输出电压 $\geq 18 \text{ V}$ (探头离开被测物) 变频调幅式变换电路, 传感器线圈是振荡电路中的电感元件。

(10) 光电变换座由红外发射、接收组成。

3. 两套显示仪表

(1) 数字式电压/频率表, 3 位半显示, 电压范围为 $0\sim 2\text{ V}$ 、 $0\sim 20\text{ V}$, 频率范围为 $3\sim 2\,000\text{ Hz}$ 、 $10\sim 20\,000\text{ Hz}$, 灵敏度 $\geq 50\text{ mV}$ 。

(2) 指针式毫伏表, 85cl 表, 分 500 mV 、 50 mV 、 5 mV 三挡, 精度为 2.5% 。

4. 两种振荡器

(1) 音频振荡器为 $0.4\sim 10\text{ kHz}$ 输出连续可调, V_{p-p} 值为 20 V 输出连续可调, 180° 、 0° 反相输出, L_v 端最大功率输出电流为 0.5 A 。

(2) 低频振荡器为 $1\sim 30\text{ Hz}$ 输出连续可调, V_{p-p} 值为 20 V 输出连续可调, 最大输出电流为 0.5 A , V_i 端可用做电流放大器。

5. 两套悬臂梁、测微头

双平行式悬臂梁两副 (其中一副为应变梁, 另一副装在内部与振动圆盘相连), 梁端装有永久磁钢、激振线圈和可拆卸式螺旋测微头, 可进行位移与振动实验。

6. 电加热器两组

电热丝组成, 加热时可获得高于环境温度 30°C 左右的升温。

7. 测速电机一组

由可调的低噪声高速轴流风扇组成, 与光电、光纤、涡流传感器配合进行测速实验。

8. 两组稳压电源

直流 $\pm 15\text{ V}$, 主要提供温度实验时的加热电源, 最大激励为 1.5 A 。

$\pm 2\sim \pm 10\text{ V}$ 分五挡输出, 最大输出电流为 1.5 A , 提供直流激励源。

实验一 金属箔式应变片：单臂、半桥、全桥的比较

一、实验目的

- (1) 了解金属箔式应变片的应变效应, 单臂、半桥、全桥工作原理, 放大器性能。
- (2) 通过实验, 增强学生对传感器的感性认识。
- (3) 比较单臂、半桥、全桥输出时的灵敏度和非线性度, 验证单臂、半桥、全桥的性能及相互之间关系, 得出相应的结论。

二、实验仪器和设备

直流稳压电源, 差动放大器, 电桥, F/V 表, 双孔悬臂梁称重传感器, 应变片, 砝码, 主、副电源。

三、有关旋钮的初始位置

直流稳压电源打到 $\pm 2\text{ V}$ 挡, F/V 表打到 2 V 挡, 差动放大器增益打到最大。

四、实验原理

电阻丝应变片如图 1.4 所示。

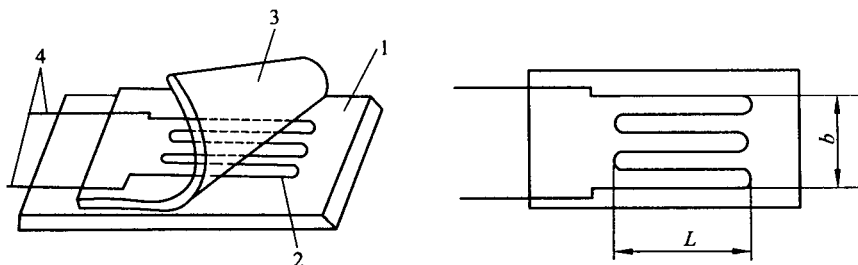


图 1.4 电阻丝应变片

1—基片；2—合金电阻丝；3—覆盖层；4—引线，用来和外界导线连接
L—敏感栅长度；b—敏感栅宽度

应变电阻在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，叫做电阻应变效应。实验时，将金属应变片贴在一个悬臂梁上，改变测微头，使应变片电阻发生机械变形，放大器输出的电量也相应地发生变化。电阻应变片的测量电路是根据电桥平衡原理来工作的。

1. 直流电桥

(1) 平衡条件。直流电桥的基本形式如图 1.5 所示。 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 称为电桥的桥臂， R_L 为其负载（可以是测量仪表内阻或其他负载）。

当 $R_L \rightarrow \infty$ 时，电桥的输出电压 U_o 应为：

$$U_o = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right)$$

当电桥平衡时 $U_o = 0$ ，由上式可得到：

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad \text{或} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

上式称为电桥平衡条件，平衡电桥就是桥路中相邻两臂阻值之比相等。桥路相邻两臂阻值之比相等方可使流过负载电阻的电流为 0。

(2) 电压灵敏度。如果在实际测量中，使桥臂 R_1 由应变片来替代，微小应变引起微小电阻的变化，电桥则输出不平衡电压的微小变化。一般需要加入放大器放大，由于放大器的输入阻抗可以比桥路输出电阻高得多，所以此时仍视电桥为开路。当受应变时，若应变片电阻变化为 ΔR_1 ，其他桥臂固定不变，则电桥输出电压 $U_o \neq 0$ 。下面试求不平衡电桥输出的电压 U_o ：

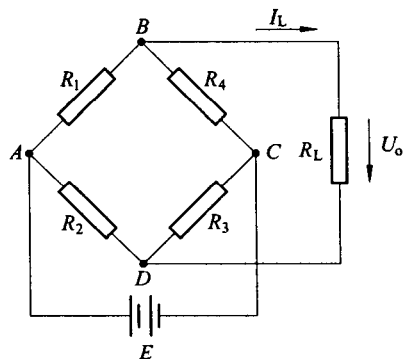


图 1.5 直流电桥

$$U_o = E \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) = E \left(\frac{\left(\frac{R_3}{R_2} \right) \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} \right)}{\left(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} \right) \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)} \right)$$

设桥臂比 $n = \frac{R_4}{R_1}$, 由于 $\Delta R_1 \ll R_1$, 分母中 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 可忽略, 并考虑到平衡条件 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$, 故可以得到 $U_o \approx E \frac{n}{(1+n)^2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1}$, 则电桥电压灵敏度定义为:

$$S_v = \frac{U_o}{\frac{\Delta R_1}{R_1}} = E \left(\frac{n}{(1+n)^2} \right)$$

分析上式发现: ① 电桥电压灵敏度正比于电桥供电电压, 供桥电压愈高, 电桥电压灵敏度愈高。但是供桥电压的提高受到应变片允许功耗的限制, 所以一般供桥电压应适当选择。② 电桥电压灵敏度是桥臂电阻比值 n 的函数, 因此必须恰当地选择桥臂比 n 的值, 保证电桥具有较高的电压灵敏度。

下面分析当供桥电压 E 确定后 n 应取何值, 电桥电压灵敏度才最高。

由 $\frac{\partial S_v}{\partial n} = 0$ 来求 S_v 的最大值, 可得:

$$\frac{\partial S_v}{\partial n} = \frac{1-n^2}{(1+n)^4} = 0$$

求得 $n=1$ 时, S_v 为最大。也就是说, 在供桥电压确定后, 当 $R_1 = R_4$ 且 $R_2 = R_3$ 时, 电桥电压灵敏度最高。此时可得到:

$$U_o \approx \frac{1}{4} E \frac{\Delta R_1}{R_1}, \quad S_v = \frac{1}{4} E$$

由上面的式子可知, 当电源电压 E 和电阻相对变化 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 一定时, 电桥的输出电压及其灵敏度也是定值, 且与各桥臂阻值大小无关。

2. 单臂电桥原理

如果将 R_4 换成贴在试件上的应变片, 应变片随试件的受力变形而变形, 引起应变片电阻 R_4 变化, 平衡被破坏, 输出电压 U_o 发生变化。单臂工作时, 电桥只有 R_4 桥臂为应变片, 电阻变为 $R \pm \Delta R$, 其余各臂仍为固定阻值 R , 对单臂电桥输出灵敏度为:

$$S_v = \frac{1}{4} E$$

3. 半桥原理

不同受力方向的两只应变片作为邻边接入电桥, 构成半桥时, 电桥输出灵敏度提高, 非线性得到改善。

根据被测试件的受力情况可知, 若使一个应变片受拉, 一个受压, 则应变符号相反; 测试时将两个应变片接入电桥的相邻臂上, 如图 1.6 所示, 称为半桥差动电

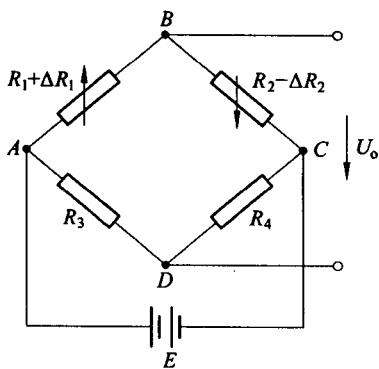


图 1.6 半桥

路。该电桥的输出 U_o 为:

$$U_o = E \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 - \Delta R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

若 $\Delta R_1 = \Delta R_2$, $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$, 则得: $U_o = \frac{1}{2} E \frac{\Delta R_1}{R_1}$ 。

由上式可知, U_o 与 $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ 成线性关系, 差动电桥无非线性误差, 而且电压灵敏度为 $S_v = \frac{1}{2} E$, 比使用一只应变片提高了一倍, 同时可以起到温度补偿的作用。

4. 全桥原理

将受力性质相同的两应变片接入电桥对边, 即 2 个受拉应变、2 个受压应变, 构成全桥测量电路。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍, 非线性误差和温度误差均得到改善。

若将电桥四臂接入四片应变片, 如图 1.7 所示, 即两个受拉、两个受压, 将两个应变符号相同的接入相对臂上, 则构成全桥差动电路。若满足 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$, 则输出电压为:

$$U_o = E \frac{\Delta R_1}{R_1}, \quad S_v = E$$

由此可知, 输出灵敏度比用单臂提高了四倍, 比半桥差动电路提高了一倍。

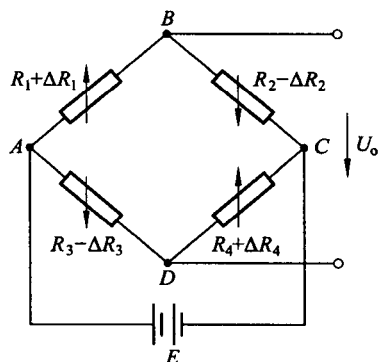


图 1.7 全桥

五、实验步骤

(1) 了解所需单元、部件在试验仪上的所在位置, 观察梁上的应变片, 应变片为棕色衬底箔式结构小方薄片。上下两片梁的外表面各贴两片受力应变片和一片补偿应变片, 测微头在双平行梁前面的支座上, 可以上、下、左、右、前、后调节。

(2) 将差动放大器调零。用连线将差动放大器的正 (+)、负 (-)、地短接。将差动放大器的输出端与 F/V 表的输入插口 V_i 相连; 开启主、副电源; 调节差动放大器的增益到最大位置, 然后调整差动放大器的调零旋钮使 F/V 表显示为零, 关闭主、副电源。

(3) 根据图 1.8 接线。 R_1 、 R_2 、 R_3 为电桥单元的固定电阻, $R_4 = R_x$ 为应变片, r 和 W_1 为电桥平衡网络。

(4) 调整测微头使双平行梁处于

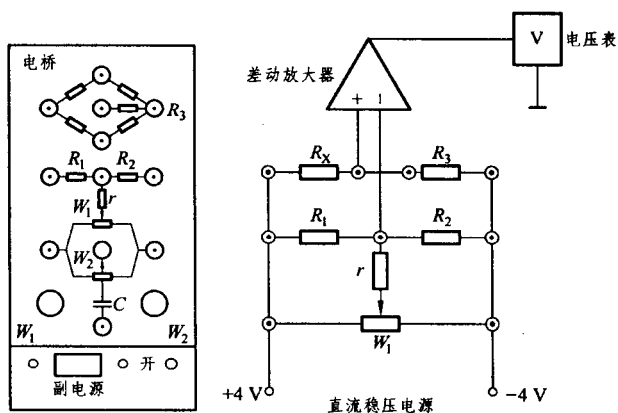


图 1.8 接线图

水平位置（目测），将直流稳压电源打到 $\pm 4\text{ V}$ 挡。选择适当的放大增益，然后调整电桥平衡电位器 W_1 使表头显示零（需预热几分钟表头才能稳定下来）。

（5）旋转测微头，使梁移动每隔 1 mm 读一个数，将测得数值填入表 1.1，然后关闭主、副电源。

表 1.1

位移 X/mm												
电压 V/mV												

（6）保持放大器增益不变，将 R_3 固定电阻换为与 R_4 工作状态相反的另一应变片，即取两片受力方向不同应变片形成半桥，调节测微头使梁到水平位置（目测），调节电桥 W_1 使 F/V 表显示为零，重复（5）过程同样测得读数，填入表 1.2 中。

表 1.2

位移 X/mm												
电压 V/mV												

（7）保持放大器增益不变，将 R_1 、 R_2 两个固定电阻换成另两片受力应变片，接成一个直流全桥。组桥时要使对臂应变片的受力方向相同，邻臂应变片的受力方向相反，否则将没有输出。调节测微头使梁到水平位置，调节电桥 W_1 同样使 F/V 表显示为零。重复（5）过程，将测得的数据填入表 1.3 中。

表 1.3

位移 X/mm												
电压 V/mV												

（8）在同一个坐标上绘出 $X-V$ 曲线，比较三种接法的灵敏度。

六、注意事项

- （1）在更换应变片时应将电源关闭。
- （2）在试验过程中，如发现电压表发生过载，应将电压量程扩大。
- （3）实验过程中，差动放大器的增益应保持不变。
- （4）在本试验中只能将放大器接成差动形式，否则系统不能正常工作。
- （5）直流稳压电源不能打得过大，以免损坏应变片或造成严重自热效应。
- （6）接全桥时请注意区别各应变片的工作状态方向，不得接错。

七、思考题

- （1）为什么 R_3 和 R_4 的工作状态要相反？若相同，其输出电压将会是多少？
- （2）比较单臂、半臂、全臂的灵敏度和稳定性并说明原因。
- （3）电桥的灵敏度与什么因素有关？如何用电桥特性来提高灵敏度和消除不利因素的影响？

实验二 差动变压器（互感式）的特性实验

一、实验目的

- (1) 了解差动变压器式传感器的结构原理；
- (2) 掌握这种传感器的常用测量电路的工作原理和性能特点；
- (3) 进一步理解差动变压器式传感器零点残余电压的有关概念，掌握消除零点残余的基本原理和方法；
- (4) 掌握差动变压器式传感器基本性能的标定方法；
- (5) 进一步学习电桥网络的调零和双线示波器的使用技巧。

二、实验仪器和设备

音频振荡器，测微头，电桥，差动变压器，差动放大器，双线示波器，振动平台，主、副电源，移相器，相敏检波器，低通滤波器，V/F 表。

三、有关旋钮的初始位置

音频振荡器的频率为 $4 \sim 8 \text{ kHz}$ ，双线示波器第一通道灵敏度为 500 mV/div ，第二通道灵敏度为 1 V/div ，触发选择打到第一通道，差动放大器的增益旋到最大，主、副电源关闭。

四、实验原理

差动变压器由初级线圈和两个参数完全相同的次级线圈组成，线圈中心插入圆柱形铁芯，两次级线圈反极性串接。根据电磁感应原理，当初级线圈加上交流电压时，次级线圈分别产生感应电势，其大小与铁芯位置有关。当铁芯在中心位置时，输出电压为零，随着铁芯偏离中心位置距离的增大，输出电压也逐渐增大，其工作原理及输出特性曲线如图 1.9 所示。

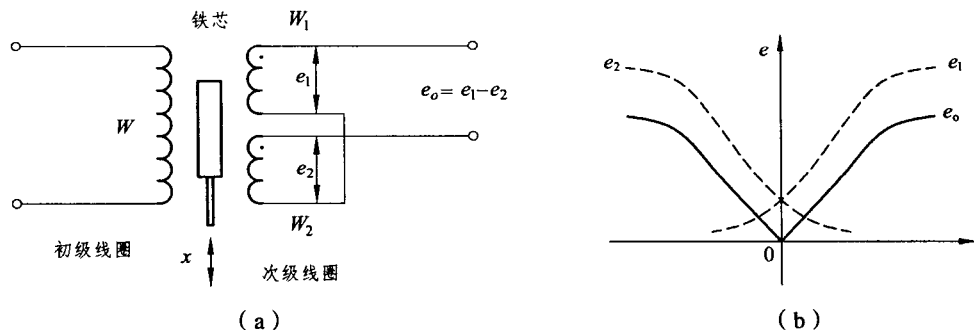


图 1.9 差动变压器工作原理及输出特性曲线图

1. 等效电路

差动变压器是利用磁感应原理制作的。在制作时，理论计算结果和实际制作后的参数相差很大，往往还要借助于实验和经验数据来修正。如果考虑差动变压器的涡流损耗、铁损和

寄生(耦合)电容等,其等效电路是很复杂的,这里忽略上述因素,给出差动变压器的等效电路,如图 1.10 所示。

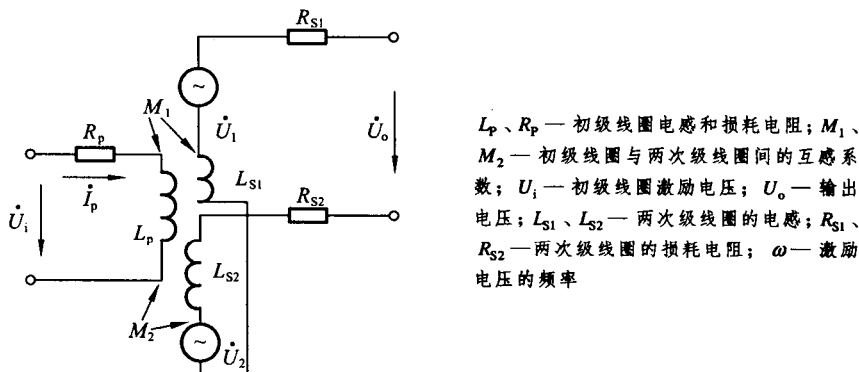


图 1.10 差动变压器等效电路

当次级开路时,初级线圈的交流电流为:

$$\dot{I}_p = \frac{\dot{U}_i}{R_p + j\omega L_p}$$

次级线圈感应电势为:

$$\dot{U}_1 = -j\omega M_1 \dot{I}_p, \quad \dot{U}_2 = -j\omega M_2 \dot{I}_p$$

差动变压器输出电压为:

$$\dot{U}_o = -j\omega(M_1 - M_2) \frac{\dot{U}_i}{R_p + j\omega L_p}$$

输出电压的有效值为:

$$U_o = \frac{\omega(M_1 - M_2)U_i}{\sqrt{R_p^2 + (\omega L_p)^2}}$$

下面分三种情况进行分析。

(1) 磁芯处于中间平衡位置时:

$$M_1 = M_2 = M, \quad U_o = 0$$

(2) 磁芯上升时:

$$M_1 = M + \Delta M, \quad M_2 = M - \Delta M$$

$$U_o = \frac{2\omega\Delta M U_i}{\sqrt{R_p^2 + (\omega L_p)^2}}, \quad \text{与 } U_1 \text{ 同极性}$$

(3) 磁芯下降时:

$$M_1 = M - \Delta M, \quad M_2 = M + \Delta M$$

$$U_o = \frac{-2\omega\Delta M U_i}{\sqrt{R_p^2 + (\omega L_p)^2}}, \quad \text{与 } U_2 \text{ 同极性}$$