

实验八 基本物理量电测实验

一、实验目的

工程实践要遇到各种传感器的使用问题,每一个工程技术人员都应掌握一些基本的传感器的使用技能。本实验的目的就是通过基本传感器的标定和应用来学习传感器的使用技能。

二、实验原理

1、位移传感器静态参数检测

本实验所用的位移传感器是差动变压器。

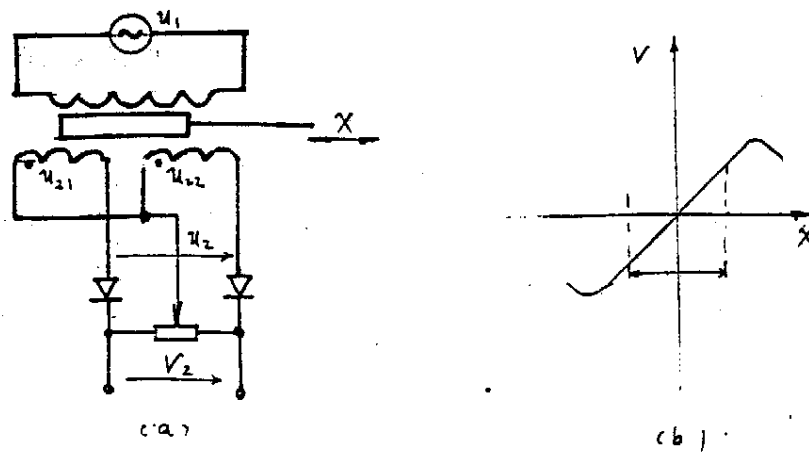


图 1 差动变压器位移传感器

a—差动变压器原理 b—差动变压器性能曲线

差动变压器工作原理参图 1。当初级线圈加上适当的电压 u_1 时根据变压器原理,两次级线圈感应出电压 u_{21} 和 u_{22} , 电路上将变压器两次级线圈的一对同名端相联, 则 $u_2 = u_{21} - u_{22}$ 。铁芯处于中央位置时 $u_{21} = u_{22}$, 则 $u_2 = 0$; 当铁芯偏离中央位置时 u_2 不等于零, 铁芯偏右, $u_{22} > u_{21}$; 而铁芯偏左时, 则 $u_{22} < u_{21}$ 。所以通过测量输出电压 u_2 的幅值可得到铁芯的位移量, 测量 u_2 的相位可得铁芯得位移方向。实际中常采用图 1 中二极管和电位器组成的相敏检波。当 $u_{22} > u_{21}$ 时, $v_2 > 0$, 表示铁芯右移; 当 $u_{22} < u_{21}$ 时, $v_2 < 0$, 表示铁芯左移。

理想的位移传感器的输出电压与输入位移成正比:

$$E_0 = kx(v) \quad (1)$$

实际的传感器是具有非线性误差的。因此实际传感器的特性可写为：

$$E_0 = kx + f(x) \quad (2)$$

式中：

k ：传感器的倍率(v/m)；

f_x ：传感器的非线性因素。

本传感器的静态性能测试就是要确定倍率 k 和非线性因素的影响范围。为了确定差动变压器的上述参数，必须对差动变压器的位移电压特性进行全位移行程范围测定。然后可按误差要求确定工作范围(即量程)，或按工作范围确定误差。

2、用位移传感器测量往复位移

往复位移由电机带动的曲柄连杆机构产生，根据图 2 的几何关系可得：

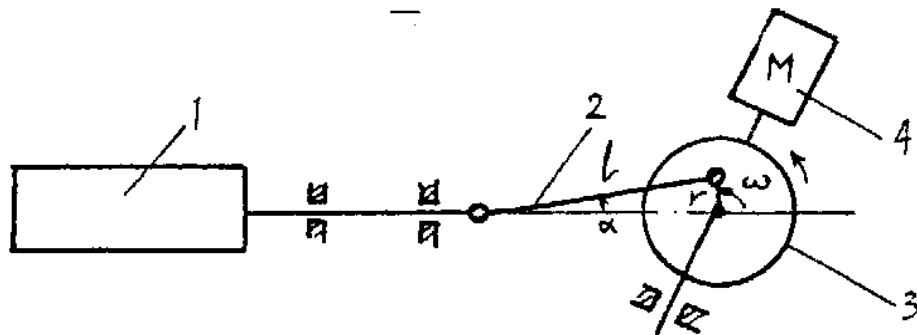


图 2 旋转曲柄机构往复运动检测

1—位移传感器 2—连杆 3—转盘 4—电机

$$x = \sqrt{\gamma^2 + l^2 + 2\gamma l \cos \omega t} \quad (3)$$

式中：

x ：位移传感器的位移；

γ ：曲柄的长度；

l ：连杆长度；

ω ：曲柄旋转的角频率(弧度/秒)。

当 γ/l 给定(3)可得相对位移运动曲线。图 3 是 $\gamma/l=0.2$ 的相对位移曲线，从图中可以看到该曲线是一个近似余弦宽。

将位移传感器的输出接到适当的记录设备上。当电动机转速恒定之后，记录下位移传感

器的输出曲线并与理论曲线图 3 比较。然后改变转速可以观察到转速大到一定值之后，测出的曲线明显偏离理论曲线，由此可以考察位移传感器的动态特性。根据动态测量系统截止频率的定义，由测量曲线幅度值的误差变化情况，检测出该位移传感器的截止频率。

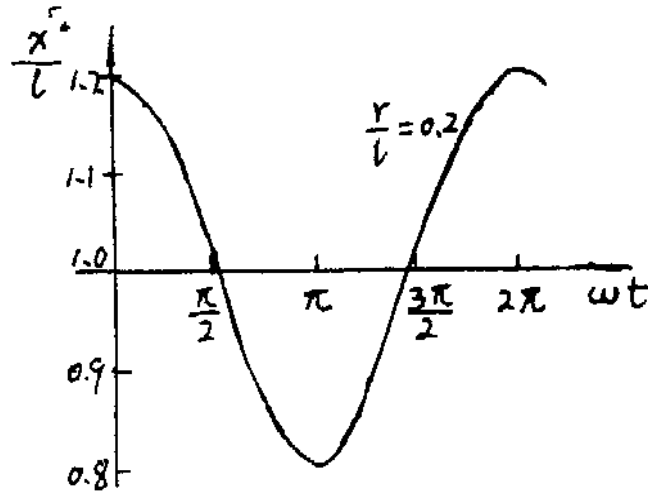


图 3 $\zeta/l=0.2$ 时的相对位移曲线

根据传感器截止频率的定义，当幅值减到静态值的 $1/\sqrt{2}$ 时的频率 ω_c 为截止频率：

$$A_{(\omega_c)} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_0 \quad (4)$$

式中：

A_0 ：频率为 0 时的振幅；

$A_{(\omega_c)}$ ：频率为 ω_c 时的振幅。

3、用光电探头检测轴的转速

光电探头检测轴转速的方法有两类：一是反射法，另一类是透射法。反射法是在被测轴的适当位置做出反射光反差大的条纹，例如在轴上粘上反光条(参图 4a)，对应光源通过反光能力强的反光条照射到光敏晶体管上的照度，比未通过反光条照到光敏管的照度要明显增大，通过电路处理可得对应反光条纹通过光照射点的脉冲信号，测出脉冲的频率就获得了转轴的转速。透射法的原理与反射法近似，不同之处在于光源放在光敏管对面，由遮光板来产生光脉冲信号。图 4b 中绘出的是测量风扇转速的情形，遮光板就是风扇自身的扇叶，十分简便易行。

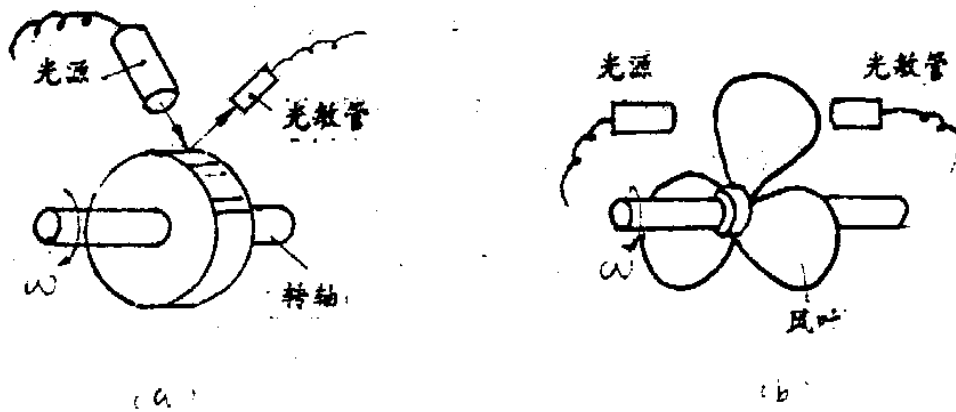


图4 光电测量转轴方法

a—反射条纹法 b—用风叶做遮光板的透射法

三、实验装置

1、位移传感器静态参数测定装置(图5)

装置由差动变压器1及其夹具和千分尺2及其传递位移的档杆3、弹簧4组成。差动变压器的电缆接至位移计，当转动千分尺测量手柄时，千分尺的测量端推动档杆，使差动变压器的铁芯连杆移动，引起差动变压器输出变化。从千分尺读数可知差动变压器的位移量，读数的精度为0.005mm，差动变压器选择量程为±5mm，位移计的对应输出电压为±200mv，位移计上有200mv的数字电压表，当标定位移计输出特性时，用外数字电压表接到位移计的背板上的输出端。

2、测量往复位移装置(图5)

装置由差动变压器及其夹具和直流电机、曲柄连杆机构组成。当直流电机转动时，曲柄连杆机构推动差动变压器铁芯，位移计的输出电压就反应了瞬时位移。直流电机的转速从300~5000转/分无级变化，用快速记录设备(如数字贮存示波器)记录下运动曲线。就可分析动态测位移情况。

3、光电探头检测轴的转动装置

装置由光电头(图6)、电源(6V)、台扇、台灯和示波器组成。台扇风叶放在光电头和台灯之间。当台扇风叶旋转时，风叶遮光板周期反映了转轴的速度，从示波器上显示的周期遮光波形可读出遮光周期，计算出转轴速度N:

$$N = \frac{1}{T} / M \times 60 \text{ (转/分)} \quad (5)$$

式中:

T: 遮光波形周期, s;

M: 叶片数。

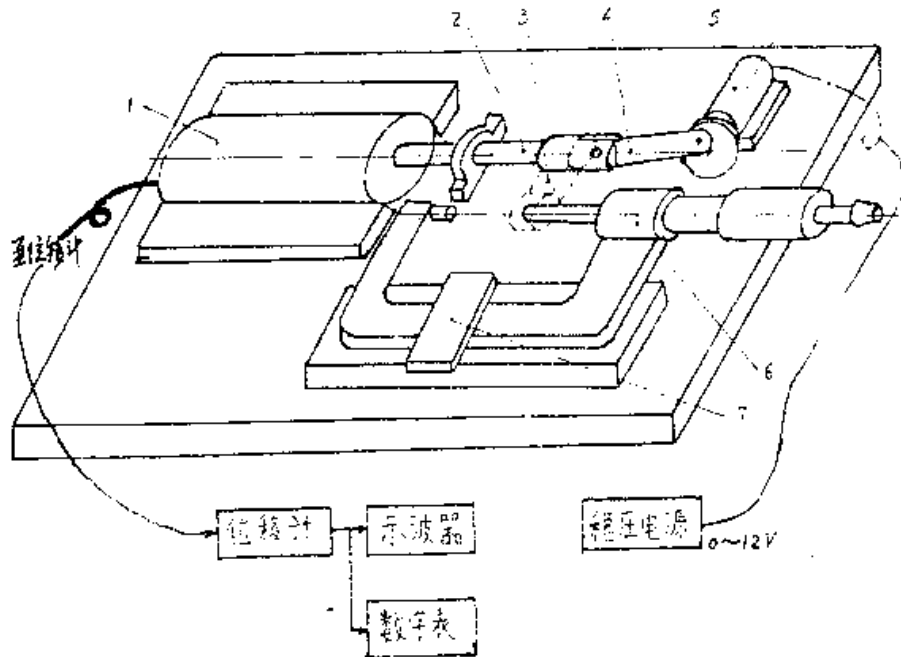


图 5 位移传感器试验装置

1—差动变压器 2—差动变压器铁心杆 3—档杆(静态标定时下曲柄 4 后装)

4—曲柄连杆 5—电机 6—螺旋千分尺 7—压板

四、实验步骤

1、位移传感器静态参数检测

1)差动变压器电缆接到位移计背板插座上,接通位移计电源。此时位移计的电压表有数字显示。

2)位移计面板选择开关打到差动变压器所接的通道上。这时移动差动变压器应有输出变化。若位移计上电压表数值不变,仅有 1 位数字显示或-1,表示差动变压器输出超过电压表量程,应调节千分尺让差动变压器进入正常工作范围,最后调节千分尺使差动变压器输出为 $\pm 0.05\text{mv}$,记下千分尺读数 L_0 。 L_0 为初始读数。

3)位移计的输出接上数字电压表,量程大于 600mv。

4)测定位移 $L - L_0$ 与输出电压关系填入表一在位移 $\pm 5\text{mm}$ 范围。每隔 0.5mm 测一点,在位移 $\pm 5\text{mm}$ 到 $\pm 10\text{mm}$ 之间,每隔 1mm 测一点。两方向的位移都要测到:

表 1 位移传感器标定表

$l - l_0$ (mm)

电压(mv)

$l - l_0$ (mm)

电压(mv)

2、往复位移测量

1)取下图 5 中的档杆，装上电机和曲柄连杆机构，调节一下电机位置使机构运转灵活，电机接上稳压电源，调节输出电压，电机从 2V 起开始运转，表示机构正常。

2)位移计的输出接到数字存贮示波器的输入端。

3)数字存贮器开关选择(参实验八)

垂直轴：

操作模式—CH₂：灵敏度—10mv/DIV；探头倍率置×10；PULL×5—推入，等效灵敏度为 100mv/DIV。输入AC—GND—DC—DC；PEN—SCOPE；SCOPE。

水平轴：

选择时基 0.1S/DIV；存贮体选择任意；记录模式—NOMAL；扫描模式—NORM。

显示模式：

ROLL、AUTO ERASE—ROLL；滚动方向任意，PREDELAY。

触发模式：

AC/DC—DC；极性+/-—+；INT/LINE/EXT—INT；触发电平旋钮置于中间位置。

4)测量静态参数：

用手旋转电机轴带动差动变压器轴。读出位移计上电压表显示的最小值和最大值。这两个值都不能超量程，若有一方向运动超量程，则调整差动变压器位置。调整完毕，记下两个参数 E_{\max} 、 E_{\min} ，用静态标定的结果将电压值转换为位移值 l_{\max} 、 l_{\min} 。由下式计算出往复位移的振幅：

$$A_0 = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{2} = K \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2}$$

式中：

K：位移传感器的灵敏度。

5)测量动态特性

开动直流电机，使电机慢慢转动，观察数字贮存示波器上的振动曲线，注意振幅值是否与 A_0 相等。然后逐渐加大电压，使电机加速，观察示波器上振动曲线的衰减情况。若示波器上的图像不稳定，可调节触发电平 LEVEL 旋钮。当示波器上的振动曲线振幅为 $a_0/2$ 时，按下扫描模式的 SINGLE 键，使波形存贮在示波器上，然后读出振动曲线的周期，如果读数时振动曲线周期少于 1 格，有效位数太少。可将扫描时间减少 5~10 倍，按 **SINGLE RESET** 键，重新将数据存在示波器上读数。

3、光电检测轴转速

1)光电头电源接到稳压电源(6V)上，光电头的输出线接到数字存贮器的输入探头上。

2)数字贮存器开关设置

开关设置与 2 中相同，仅量程选择不同：

垂直轴灵敏度为 1V/DIV；水平轴为 10ms/DIV。

3)测量光路调整

接通台灯开关，让光线通过电扇风叶照射到光电头上，用手轻转风叶，观察示波器显示，当遮光时，电压很小；光通过时，电压约为 5V，若不能做到上述情况，调整光电头和台灯的位置。

4)测速

开动电扇，观察示波器的波形，形状为不对称的矩形波。当转速稳定后，调整触发电平使波形稳定的显示在示波器上；调整时基开关，选择量程的矩形波的周期占据一格以上。在示波器的屏幕上测量矩形波的周期 T。若波形不够稳定，按下扫描模式的 **SINGLE** 键，使波形存贮在示波器上再测量。

五、数据处理

- 1、将静态标定数据画在坐标纸上，做出位移和输出电压的曲线。
- 2、静态标定数据-5mm~+5mm 范围做一元线性回归，分析误差。
- 3、静态标定数据-10mm~+10mm 范围做线性回归，分析误差并与 2 比较。
- 4、计算位移传感器的转速。
- 5、计算光电检测的转速。

六、实验报告主要内容

- 1、简述实验目的、原理。
- 2、简述实验过程，画出实验中示波器的曲线。
- 3、数据处理。
- 4、讨论思考和实验曲线，以及测量方法。

七、思考题

- 1、差动变压器位移传感器能否位移量超量程使用？
- 2、差动变压器动态测量位移时能否在截止频率下工作？
- 3、检测风扇转速时，叶片形状改变是否影响测量结果？影响测量精度的因素是什么？

(执笔人：周勇敏、简淼夫)