

机械工程测试技术基础

实 验 指 导

吕宝占 编

焦作工学院机制教研室

二〇〇一年九月

测试技术实验室规则

1、实验前，按实验指导书有关内容进行预习，并对教材中与本次实验有关的内容进行复习，了解本次实验的目的、要求、内容、实验原理和实验的主要步骤。

2、按规定时间到实验室进行实验，除与本次实验有关的书籍和文具外，其他物品不得携入室内。

3、实验室内保持整洁、安静，禁止吸烟，不准乱扔纸屑和废弃物，不准随地吐痰。

4、开始作实验之前，应在教师指导下，对照仪器（设备），了解它们的结构和调整、使用方法。

5、作实验时，须经教师同意后方可使用仪器（设备）。在接通电源之前，要特别注意仪器所要求的电压以及量程。

6、实验中要严肃认真，按规定的操作步骤进行实验，记录数据和操作要仔细。

7、要爱护实验设备，节约使用消耗性用品。若实验设备发生故障，应立即报告教师进行处理，不得自行拆修。

8、凡与本次实验无关的仪器（设备），均不得动用和触摸。

9、实验完毕，要切断仪器（设备）的电源，清理实验场地，将所用的实验设备整理好，放回原处，认真书写实验报告。经教师同意后，方可离开实验室。

10、凡不遵守实验规则，经指出而不改正者，教师有权停止其实验。如情节严重，对实验设备造成损坏者，应负赔偿责任，并给予处分。

实验报告的基本内容和要求

学生对所作的实验应该做到实验原理清楚，实验方法和操作步骤正确，实验数据较可靠，而且会处理实验数据。

实验报告应由每个学生独立完成，用钢笔或圆珠笔工整书写，报告内容要层次清楚，文字简明通顺，图表清晰，问题回答全面、准确。

实验报告的一般内容如下：

1、实验名称

2、实验目的

3、实验原理

4、实验所需仪器（设备）

5、实验数据（列表，并注明数据的计量单位和有关符号）以及数据处理计算过程及其实验结果。

6、实验结论（实验结果分析）

必要时，还要按要求书写误差分析、实验心得和完成与实验有关的思考题。

目 录

测试技术实验室规则	I
实验报告的基本内容和书写要求	II
实验一 复杂周期信号波形的叠加与分解	1
附录一 谐波分析实验仪原理图	6
实验二 传感器静态特性的测试	7
实验三 光线示波器振动子幅频特性的测定	11
附录二 SC-16 型光线示波器简介和使用	16
实验四 机床噪声的测试	18
附录三 ND ₂ 精密声级计简介和使用	23
实验五 机械振动的测量	27

实验一 周期信号波形的叠加与分解

一、实验目的

- 1、掌握用带通滤波器将非正弦周期信号分解成各次谐波的方法，验证周期锯齿波和周期方波的付立叶级数展开式的正确性。
- 2、掌握用各次谐波合成为一定周期信号的方法。
- 3、学会用二踪示波器检查各高次谐波与基波之间的初始相位差是否为零的两种方法。
- 4、了解带通滤波器的特性及其在信号分析中的应用。

二、实验原理

I、周期信号的分解

XPF-II型谐波分析实验仪提供有两种非正弦信号：周期锯齿波信号和周期方波信号，周期锯齿波波形如图 1-1 所示，根据付立叶级数的理论，在一个周期内它可表示为：

$$x(t) = \frac{A}{T}t - \frac{A}{2} \quad (0 \leq t \leq T) \quad (1-1)$$

$$= \frac{A}{2\pi} \left[\sin(\omega_0 t + \pi) + \frac{1}{2} \sin(2\omega_0 t + \pi) + \dots \right]$$

$$= \frac{A}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(n\omega_0 t + \pi) \quad (1-2)$$

式中：A —— 锯齿波幅值；

T —— 锯齿波周期；

ω_0 —— 基波圆频率，且 $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， f_0 —— 基波频率。

由式 (1-2) 可见，锯齿波可分解为基波、二次谐波、三次谐波……直至无穷多次谐波之和。基波幅值为 $A/(2\pi)$ ，其它各次谐波幅值分别为基波幅值的 $1/n$ (n 为谐波次数)，各次谐波的初始相位差为零。实际工程中往往只取有限的谐波项，所以可采用一定的分解电路来作谐波分析。

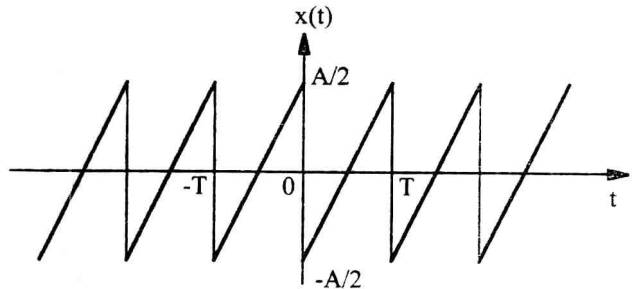


图 1-1 信号源提供的周期锯齿波

滤波器的幅频和相频特性曲线如图 1-2 所示。

从图 a 可以看出：当 $\omega = \omega_0$ 时，即在中心频率处，带通滤波器的输出最大；偏离中心频率则输出减小。由图 b 可以看出：当 $\omega = \omega_0$ 时，输出信号与输入信号之间的相位差为 -180° ，偏离中心频率则产生新的相移。

II、波形的合成

波形合成电路是由谐波分析实验仪上“符号选择”、“幅值调节”和“加法器”（见附图 1-1 所示）三部分组成。利用七个带通滤波器输出的不同频率的正弦波，根据待合成波

形的要求，选择所需要的频率成分、幅值比例及相位关系，最后由加法器进行谐波相加，便可分别合成方波、锯齿波和三角波等周期信号的近似波形。

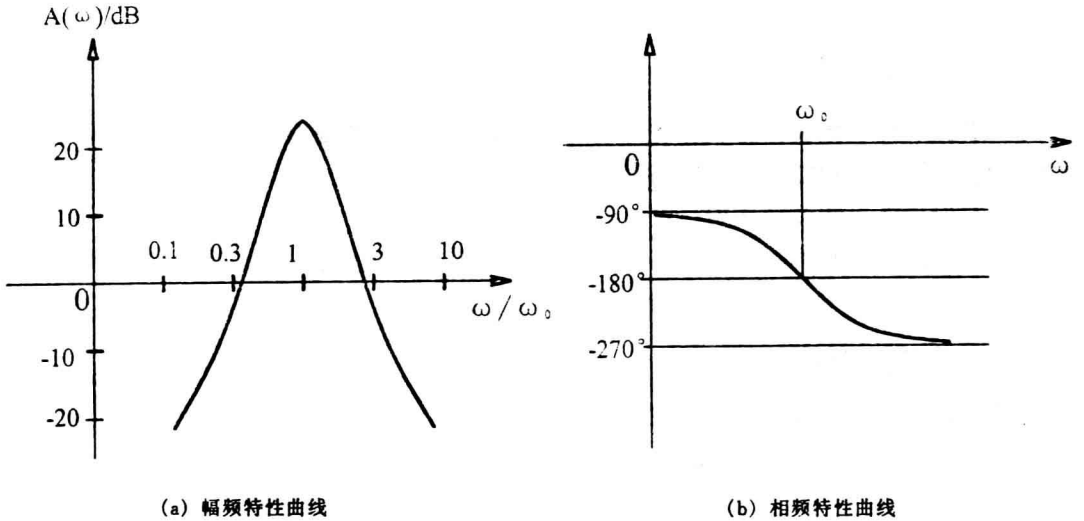


图 1-2 滤波器幅频和相频特性曲线

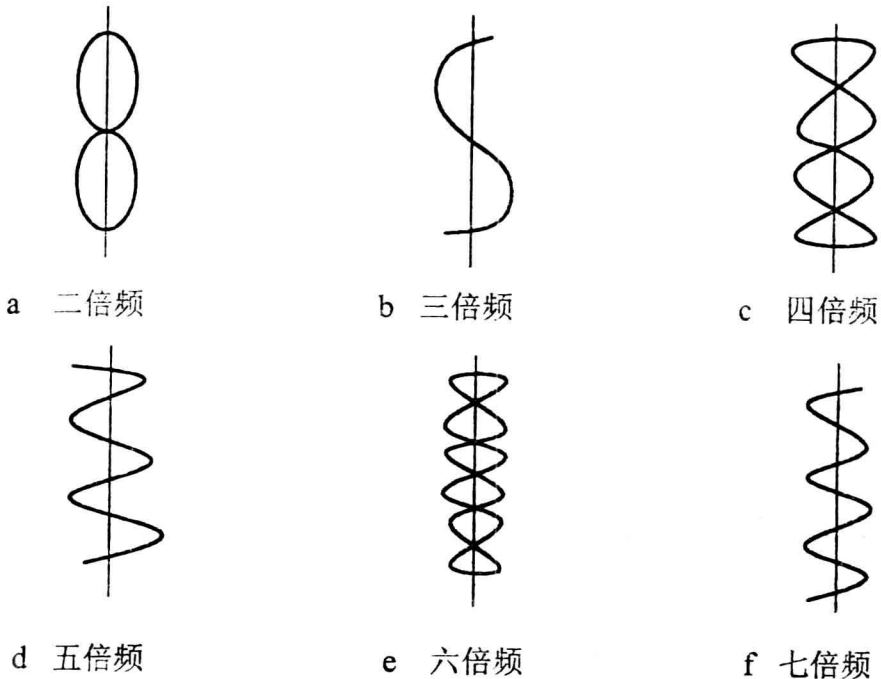


图 1-3 李沙育图形

III、波形的失真

在动态测试中，要实现不失真测量，要求测试系统：(1) 测试系统的幅频特性水平；(2) 测试系统的相频特性与频率成线性关系或相移为零。破坏其中一条，都将导致波形失真。利用本谐波分析实验仪可以分别改变频率成分、幅值比例或相位关系，用示波器观察合成波形发生失真的情况。

三、实验仪器

- | | |
|------------------|----|
| 1、XPF-II型谐波分析实验仪 | 一台 |
| 2、DA-16型晶体管毫伏表 | 一台 |
| 3、SR8型二踪示波器 | 一台 |

四、实验步骤

I、周期信号的分解

1、用示波器分别观察锯齿波和方波波形，调节方波对称旋钮，使方波成为等占空比方波（即方波对称）。

2、把锯齿波信号送入带通滤波器，缓慢调节电位器 φ_1 ，并在 f_0 处用毫伏表测量幅值，当幅值最大时，则 φ_1 的中心频率与信号频率相同（请思考其原因），然后调节锯齿波输入的幅值旋钮，使 f_0 处的基波幅值为 1V。

3、缓慢调节电位器 φ_2 ，并在 $2f_0$ 处用毫伏表测量幅值，当幅值最大时，则 φ_2 的中心频率与两倍的信号频率相同。

4、用上述方法，依次调节 φ_3 、 φ_4 ... φ_7 ，分别使 $3f_0$ 、 $4f_0$... $7f_0$ 处的幅值最大。

5、观察各次谐波与基波的相位差是否为零。若不为零，则以 φ_1 为基准，微调与各次谐波相对应的电位器 φ_2 、 φ_3 ... φ_7 。

观察各次谐波与基波之间的相位是否为零的方法有两种：

方法 1：李沙育图形法。把 f_0 处的基波送入示波器的“X 外接”，并将“微调”旋钮调至“X 外接”位置，再分别将 $2f_0$ 、 $3f_0$... $7f_0$ 处的高次谐波送入 Y 轴，观察其与基波的合成波形是否符合李沙育图形（图 1-3）。

注意：观察图中关键点的位置，只要关键点位置正确，就可以说明相位差为零。

方法 2：两波形叠加法。将基波送入示波器的“Y_A”，把 $2f_0$ 、 $3f_0$... $7f_0$ 处的高次谐波分别送入“Y_B”，把选择旋钮调至“Y_A+Y_B”位置，观察其合成波形是否符合谐波叠加图形（图 1-4）。

6、用毫伏表分别从 f_0 、 $2f_0$... $7f_0$ 处测量，将幅值填入表 1-2 中。

7、把方波信号接入谐波分析仪，按上述方法对方波进行谐波分析。

II、波形的合成

1、利用分解锯齿波所得到的各频率成分的正弦波，保持 φ_1 、 φ_2 ... φ_7 位置不变（即保持各高次谐波与基波之间的相位差为零不变）。

2、接通开关 K_1 ，调节锯齿波输入的幅值旋钮和 A_1 ，使加法器输入端的幅值为 1V，然后断开 K_1 。

3、分别接通开关 K_1 、 K_2 ... K_7 ，依次调节 A_1 、 A_2 ... A_7 ，使各次谐波的幅值分别为基波的 $1/n$ 。

4、拨动符号选择开关，选择各次谐波的相位；然后，有选择的接通 K_1 、 K_2 ... K_7 ，在加法器的输入端用示波器观察合成波形。将只有 $6f_0$ 选“-”、开关 K_5 断开时的合成图形绘制于表 1-2 中。

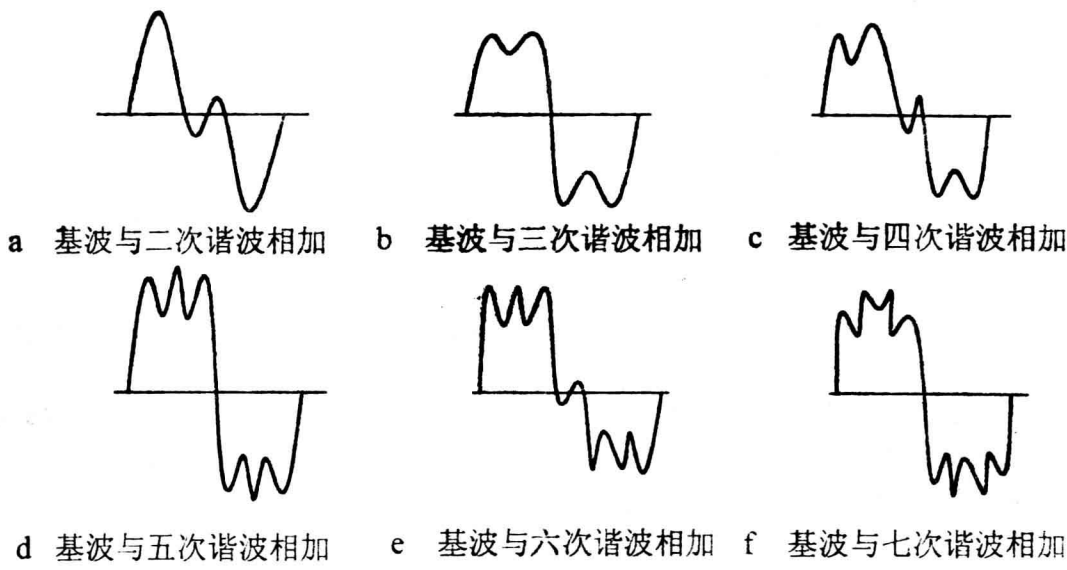


图 1-4 基波与高次谐波叠加的图形

Ⅲ、合成波形的畸变

- 1、分别开或关 K_1 、 $K_2 \cdots K_7$ ，观察缺少某次谐波后合成波形发生畸变的情况。
- 2、分别改变 A_1 、 $A_2 \cdots A_7$ 的位置，观察各次谐波幅值比例改变后合成波形发生畸变的情况。
- 3、分别改变 φ_1 、 $\varphi_2 \cdots \varphi_7$ 的位置，观察合成波形发生畸变的情况。

五、实验数据整理

1、将锯齿波分解后的各次谐波幅值的实测值与理论值填入表 1-1 中。

表 1-1 各次谐波的幅值

	f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$
实测值 $A_{实}(mV)$							
理论值 $A_{理}(mV)$							
$A_{实} - A_{理}(mV)$							

2、在表 1-2 中绘出已知条件下的合成波形图。

表 1-2 合成波形的畸变

	f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$
幅 值 V	0.50	0.25	0.17	0.125	0.10	0.079	0.072
符号选择	+	+	+	+		-	+
开关选择	开	开	开	开	关	开	开
观察到的合成波形							

六、实验结果分析

七、思考题

1、为什么高次谐波会发生不等幅现象，如何改变这种情况？

2、合成波形不发生畸变需保证哪些条件？实验中如何保证？用什么方法观察？

3、如果将图 1-1 所示的信号源提供的周期锯齿波的坐标轴移动，使之成为图 1-5 所示的图形。试对其进行付立叶级数展开，比较两者的差异。

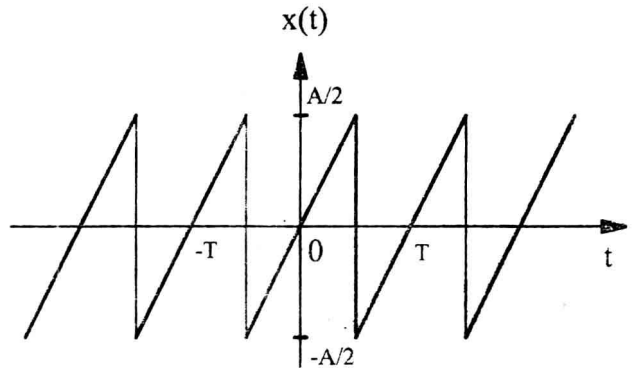
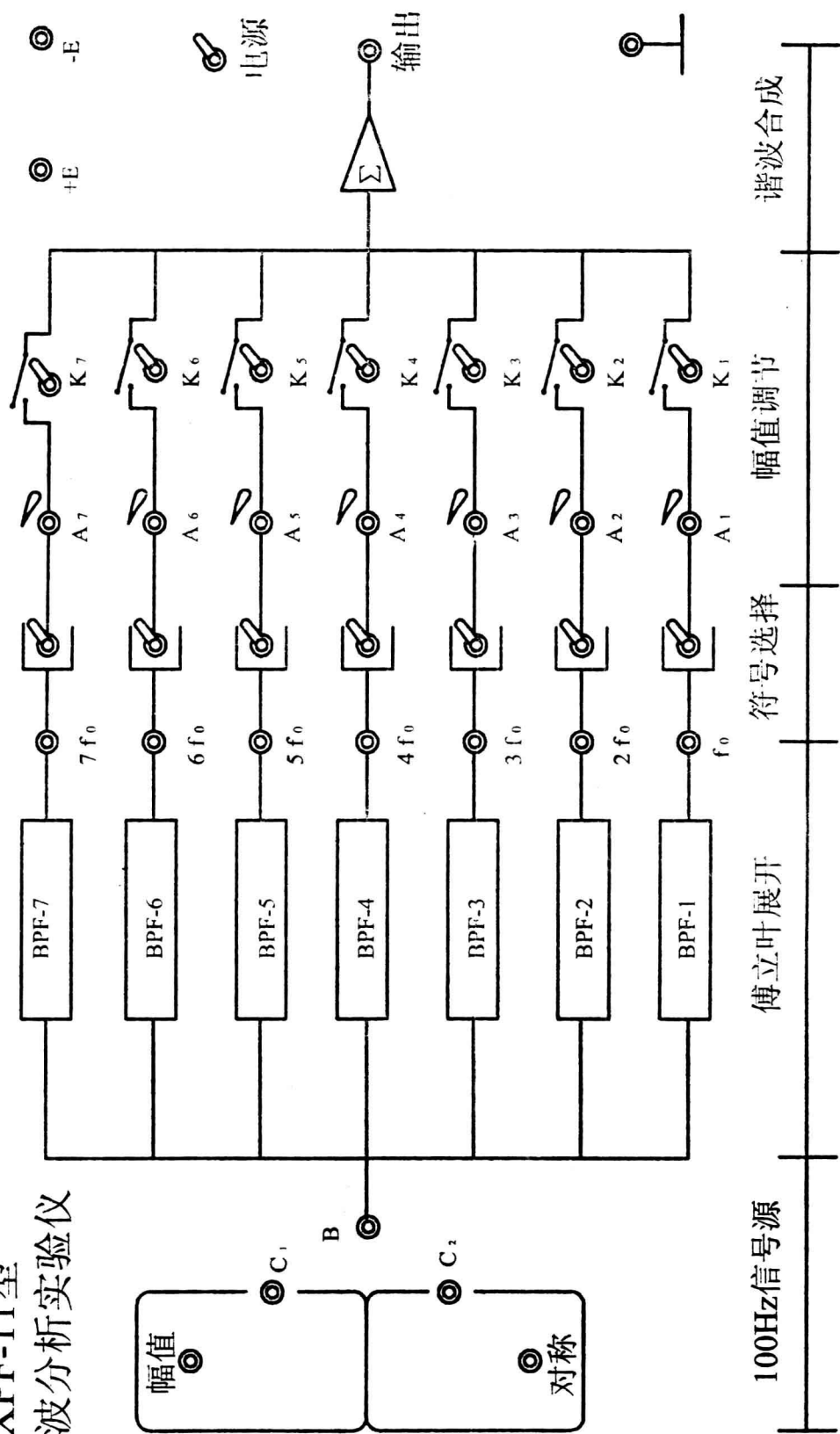


图 1-5 周期锯齿波

· 6 · XPF-11型
谐波分析实验仪



附图 1-1 谐波分析实验仪原理图

实验二 传感器静态特性的测试

任何一种测试装置在研制、装配完毕和长期使用后，都必须进行性能上的校准。

描述测试装置静态特性的指标有：灵敏度、线性度（非线性误差）、回程误差（滞后量）、精度、稳定性等。测试装置的静态特性测试，就是通过实验方法建立输入量是静态量时测试装置的输出——输入关系。

本实验就是利用小位移检测特性实验仪对测试装置在不同检测方式下的静态特性指标进行测量，得出不同检测方式的输出——输入关系，从而对不同检测方式下测得的各个指标进行比较。

一、实验目的

- 1、研究电阻应变片在直流电桥中的各种接法，掌握各种通电电桥的和差特性（即接入特性）。
- 2、掌握测量各种接法的输出——输入特性的方法，并比较各种接法的灵敏度、线性度、回程误差及稳定性。
- 3、学习有关仪器的使用。

二、实验原理

1、原理

在悬臂梁基部的正反两面各贴有两个应变片，应变片 R_1 、 R_3 贴在基部的正面， R_2 、 R_4 贴在反面，组成一个桥路。在悬臂梁的末端加砝码时，悬臂梁因受力而发生变形，粘贴在梁上的电阻应变片也随着变形，从而使桥路电流发生变化。

电阻应变片在桥路中的联接方式有：全桥接线方式（图 2-1a 所示）、半桥双臂（图 2-1b 所示）、半桥单臂（图 2-1c 所示）。

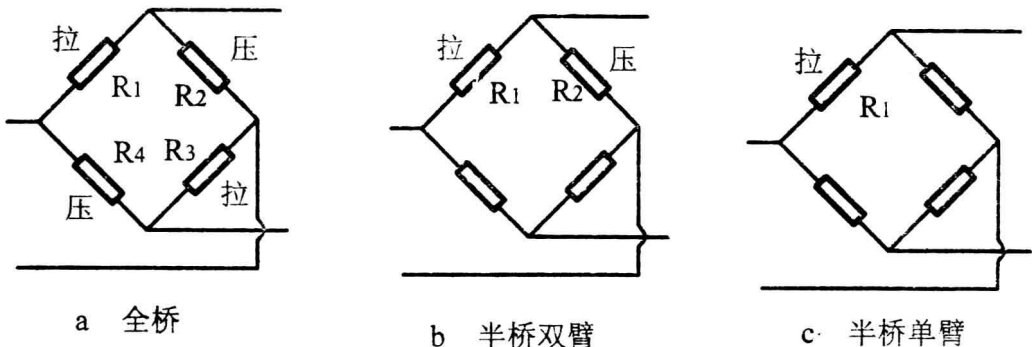


图 2-1 桥路的联接方法

2、应变梁（悬臂梁）的结构（图 2-2 所示）

3、电阻检测线路

电阻检测线路的电路图见电阻检测线路板（图 2-3 所示），本装置提供了固定电阻

(实线方框表示)、外接电阻 (虚线方框表示) 及调零电位器。

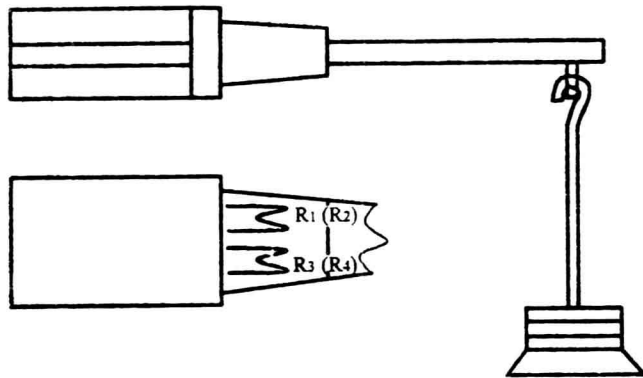


图 2-2 应变梁的结构

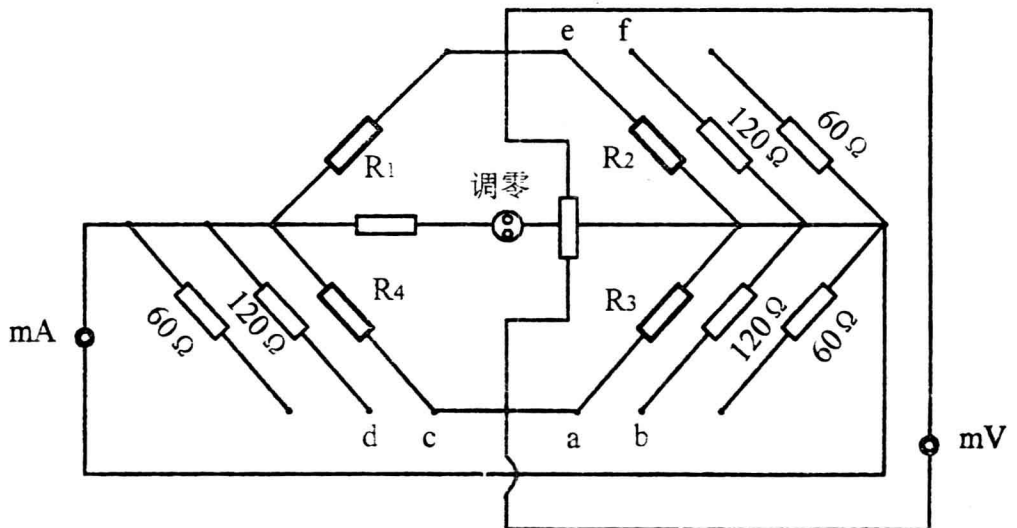


图 2-3 电阻检测线路

三、实验仪器和设备

- | | |
|---------|----|
| 1、悬臂梁 | 一个 |
| 2、龙门框架 | 一个 |
| 3、砝码 | 五块 |
| 4、电阻信号源 | 一台 |
| 5、转换器机箱 | 一台 |

四、实验步骤和方法

- 1、在转换器机箱上插上电阻信号源。
- 2、按图 2-1 将各应变片接入电阻检测线路板的相应位置。
- 3、将供桥路的直流 mA 输出接到电阻检测线路板 mA 孔上。将电阻检测线路板输出 mV 连接到电阻信号源的 V_r 插孔。电阻信号源的输出 V_x 接到指示插件输入插孔 V_r ，再

开启电源预热 10~20 分钟。

4、把指示插件的测量转换开关拨向 A，调节粗调电位器和调零电位器，使指的指示为零。

5、在悬臂梁的末端吊砝码五块，指示表应显示 10mA，否则调节调满电位器。

6、重复零满调节几次，使取下所有砝码时指示为 0mA，加上所有砝码时指 10mA。

7、依次加砝码（一次一个，即 0.1kg），记录下不同载荷下的电桥输出电流值，并填入表 2-1 中。

8、依次减砝码（一次一个，即 0.1kg），记录下不同载荷下的电桥输出电流值，并填入表 2-1 中。

9、将 R_3 、 R_4 拆除，分别用导线将电阻检测线路板中的 a 和 b 、 c 和 d 连接，即 $R_3 = 0$ ， $R_4 = 0$ ，重复作 7、8 两步，将测量结果填入表 2-1 中。

10、将 R_2 拆除，用导线将电阻检测线路板中的 e 和 f 连接起来，重复作 7、8 两步，将测量结果填入表 2-1 中。

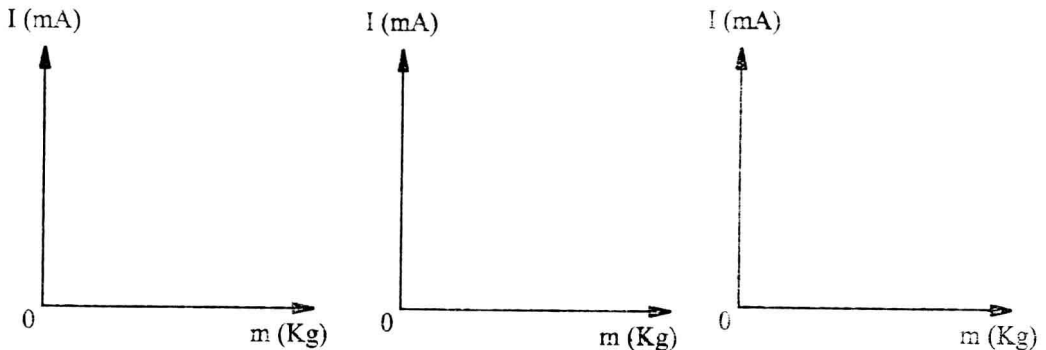
五、实验数据整理

1、列表整理出测得的不同桥路下、不同载荷的电桥输出电流值

表 2-1 不同桥路、不同载荷下的电流输出值

		0	0.1(kg)	0.2(kg)	0.3(kg)	0.4(kg)	0.5(kg)
全 桥	加 载	0					10mA
	卸 载						10mA
半桥双臂	加 载						
	卸 载						
半桥单臂	加 载						
	卸 载						

2、绘出各种情况的输出——输入特性曲线



a 全桥输出特性曲线

b 半桥双臂输出特性曲线

c 半桥单臂输出特性曲线

图 2-4 各种接线方式的输出特性曲线

3、计算各种接法的灵敏度、线性度和滞后误差，并将实验结果与理论值进行比较。

六、实验结果分析

实验三 光线示波器振子幅频特性的测定

一、实验目的

1、了解 SC-16 型光线示波器的基本结构和工作原理，掌握正确使用 SC-16 型光线示波器的方法。

2、掌握测定光线示波器振子的幅频特性的方法。

3、分析光线示波器振子的动态特性对记录结果的影响。

二、实验原理

光线示波器的振子是一个二阶扭振系统，其力学模型可表示为：

$$M_J + M_C + M_G = M_I$$

式中： M_J ——转动系统的转动惯性力矩， $M_J = J \frac{d^2\theta}{dt^2}$ ，其中 J 为转动惯量， θ 为振子线圈的转角。

M_C ——阻尼力矩， $M_C = C \frac{d\theta}{dt}$ ，其中 C 为阻尼系数。

M_G ——张丝的弹性反抗力矩， $M_G = G\theta$ ，其中 G 为张丝的扭转刚度。

M_I ——振子线圈的电磁力矩， $M_I = KI$ ，其中 K 为比例系数， I 为输入振子线圈的信号电流。

当振子输入电流为 I 时，它的线圈就产生 θ 的转角，振子转动系统的频率响应函数为：

$$H(j\omega) = \frac{K/G}{1 - (\omega/\omega_n)^2 + 2j\zeta(\omega/\omega_n)} \quad (3-1)$$

式中： ω ——输入信号电流的圆频率；

ω_n ——振子转动系统的转动固有频率， $\omega_n = \sqrt{G/J}$ ；

ζ ——振子转动系统的转动阻尼比， $\zeta = c/(2\sqrt{GJ})$

它的幅频特性为：

$$A(\omega) = \frac{K/G}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + 4\zeta^2(\omega/\omega_n)^2}} \quad (3-2)$$

三、实验仪器

- | | |
|-----------------|----|
| 1、SC-16A 型光线示波器 | 一台 |
| 2、XD-2 型信号发生器 | 一台 |
| 3、DA-16 型晶体管毫伏表 | 一块 |

四、实验步骤和方法

1、使示波器中与被测振子相并联的可调分流电阻的阻值 $\geq 50\Omega$ ，并将信号发生器的频率调整到 20Hz，输出电压的幅值 U_0 调整到：

$$U_0 \leq I_{gm} R_g \quad (3-3)$$

式中： I_{gm} ——被测振动子的最大允许电流；

R_g ——被测振动子的线圈内阻。

2、接通光线示波器中，并将电压调整到 220V（SC-16 型光线示波器中恒温装置装有加热开关，当使用油阻尼振动子时，必须将加热开关按钮接通锁住，此时，磁系统恒温装置加热）。

3、预热 10~30 分钟后，按起辉按钮并锁住，使高压水银灯点亮，调节光点光栅的分格线光栅的亮度，通过观察屏观察光点是否聚成细小光点，以便达到良好的记录效果，一般 5 分钟左右光点达到正常亮度。如果光点不在中央位置，可用专用绝磁螺丝刀把它调整到观察屏的中央。

4、按图 3-1 所示方法连接实验线路，将信号发生器直接与 FC6-1200 振动子联接。

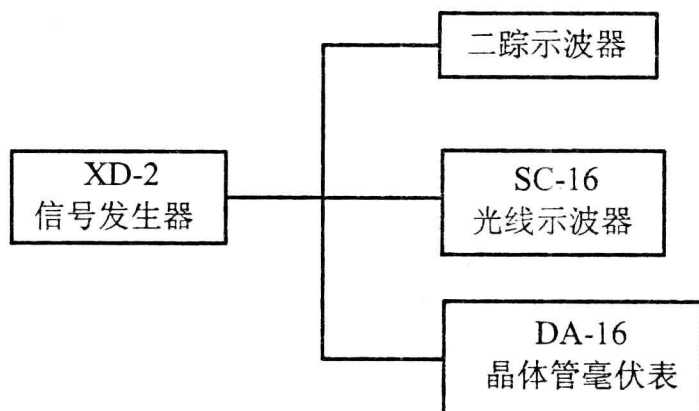


图 3-1 振动子幅频特性实验线路框图

5、将 20Hz 的正弦电压信号输入被测振动子，观察屏上亮线的长度与输入信号的峰一峰值成正比，亮线长度接近记录线的宽度为最佳。调整好后即可按下电机按钮进行拍摄。

6、改变信号发生器的输出电压幅值，使输入到振动子的信号电流发生变化，从观察屏可读得相应亮线的长度，即可近似求得被测振动子的静态特性曲线。

7、保持信号发生器的输出电压幅值不变，输入频率由 $f/f_n = 0.5$ 至 $f/f_n = 2$ ，用 20mm/sec 走纸速度记录信号，频率间隔为 100Hz。每变换一次频率，应停留一段时间使信号稳定后再记录，每次走纸约 60mm。波形曲线痕迹在强光下只能保持 10~100 小时，所以实验数据应及时整理。

五、实验数据整理

1、将输入频率 $f = 20\text{Hz}$ 不同输入电压所对应的波形幅值记录于表 3-1 中，并作出被测振动子的静态定度曲线，算出其灵敏度和线性度。

$$(f_0 = 1200\text{Hz} \quad f = 20\text{Hz})$$

表 3-1 不同输入电压所对应的波形幅值

输入电压 (mV)						
波形幅值 (mm)						
输入电压 (mV)						
波形幅值 (mm)						

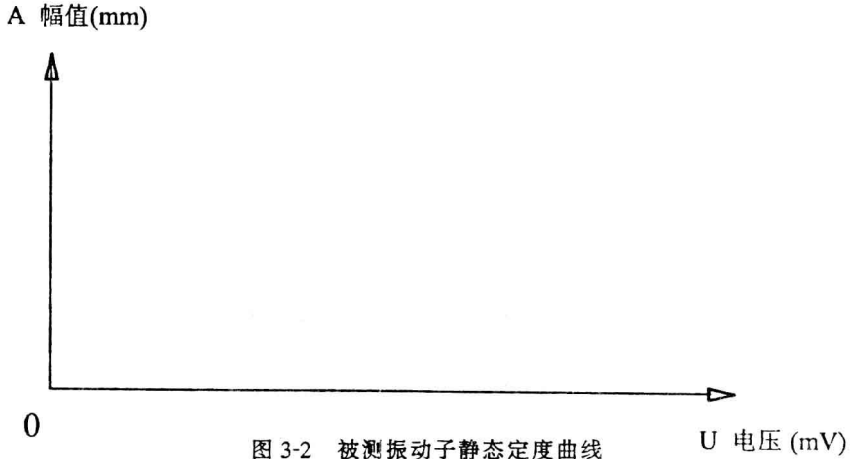


图 3-2 被测振动子静态定度曲线

(1) 计算灵敏度:

(2) 计算线性度:

2、作出被测振动子的幅频特性曲线

$$(f_0 = 1200\text{H} \quad A_0 = 72\text{mm})$$

表 3-2 不同输入频率所得到的波形幅值

输入频率 f (Hz)		600	700	800	900	1000	1100	1200
波形幅值 A (mm)	72							
频率比 (f/f_0)		0.50	0.583	0.667	0.75	0.833	0.917	1.0
幅值比 (A/A_0)	1							
输入频率 f (Hz)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
波形幅值 A (mm)								
频率比 (f/f_0)	1.083	1.167	1.25	1.333	1.417	1.50	1.583	1.667
幅值比 (A/A_0)								