

物 理 实 驗

(非物理系用)

下 册

物理系电子技术教研室编

中 山 大 学

一九八二年九月·广州

目 录 (下 册)

实验十三	音叉固有频率的测定	111
实验十四	电表的改装和校准	116
实验十五	电子束的电偏转	121
实验十六	电子束的磁偏转	128
实验十七	磁滞回线的观测	133
实验十八	三相电动机的控制和电路测量	137
实验十九	平面平行透明板折射率的测定	144
实验二十	用牛顿环测定透镜的曲率半径	149
实验二十一	用衍射光栅测定光波波长	155
实验二十二	用示波器观测伏安特性	164
实验二十三	半导体整流滤波电路	170
实验二十四	晶体管单管低频放大器	183
实验二十五	RC正弦波振荡电路	192

实验十三 音叉固有频率的测定

目的要求：

1. 学会用电子仪器显示振动的合成并测定频率的方法。
2. 利用电子仪器观察受迫振动及共振现象，并利用共振现象测量频率。
3. 测定音叉的固有频率。

仪器用具：

示波器，音频信号发生器，数字频率计，音叉，耳机。

概述

任何物体都具有振动的固有频率，这是反映物体性能的重要物理量。当物体受激发后作无阻尼自由振动（即简谐振动）时，其振动频率就是它的固有频率。如空气等阻力很小而可忽略的情况下，音叉被敲后的振动便可看作是简谐振动。

根据相互垂直的简谐振动合成的结论，当 x 方向的振动频率与 y 方向的振动频率相同时，合振动的轨迹是一条直线或一个椭圆。若将音叉受敲后的振动（机械的谐振动）通过一个附在其上的耳机的磁蕊和线圈（作为传感器），转换为电信号（电的谐振动），输到示波器的 y 轴；又将音频信号发生器的输出电压（可调的标准频率信号源），加于示波器的 x 轴，经过适当的调节，便可在示波器的荧光屏上显示出合振动的轨迹。当改变音频信号发生器的输出频率，使荧光屏上显示的图形是一条直线或一个椭圆时，则音频信号发生器的输出频率就等于音叉的固有频率。

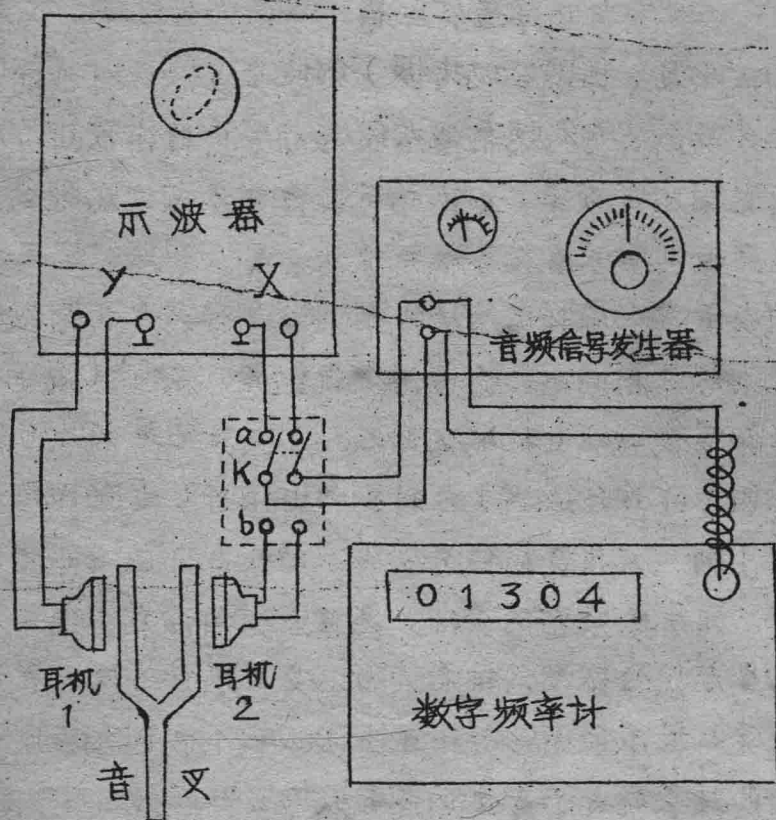
若把音频信号发生器输出电压作为频率可调的外界作用，通过另一个耳机的线圈和磁蕊，转变为周期性变化的磁力（“强迫力”）加在音叉的一个臂上，整个音叉便作受迫振动。其振动的情形，通

过附在音叉另一个臂上的耳机的磁蕊和线圈转变为电信号，输入到示波器的Y轴，便可在示波器的荧光屏上观察到共振时的图形。若改变音频信号发生器的输出电压的频率（改变“强变力”的频率）音叉振动的振幅便随之而改变。而当音叉振动的振幅达到最大值时称为共振。这时音频信号发生器的输出频率就可认为*等于音叉的固有频率。

实验内容

一、观察相互垂直的简谐振动合成及测定音叉的固有频率 ν 。

实验装置及仪器连接如图一所示。图中K为双刀双掷电键，



图一 观测音叉振动装置

用于分别把音频信号电压加到示波器X轴或耳机2。

按图一连接好电路，接通各仪器的电源，预热约十五分钟，调

节示波器，音频信号发生器^{处于}和数字频率计^{处于}正常工作状态。（各仪器的使用方法参看有关的实验讲义或本实验的附录）。

把K打向A使音频信号电压加于示波器X轴。用橡皮锤敲音叉，观察示波器荧光屏上的图形。调节音频信号发生器的频率度盘，观察图形的变化，至屏上出现的图形为椭圆（或一条直线）时，记下此时数字频率计的频率读数。

二、观察受迫振动（包括共振现象）并测出音叉的固有频率 ν 。

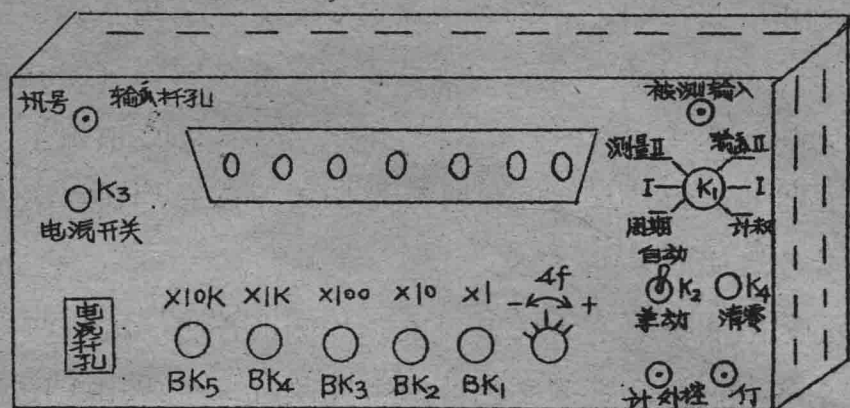
1. 将图一中音频信号发生器的输出改与耳机2相连接。
2. 启动各仪器，（注意示波器的使用，扫描范围旋钮置于“扫描”），改变音频信号发生器的输出电压频率，先粗略地观察受迫振动（包括出现共振）的情况，当出现共振时音频信号发生器的输出频率的大约值。调整好仪器的各有关旋钮（为便于下面的测量，可把示波器的扫描旋钮改置于“关”）。
3. 从远小于上述预测的共振时的频率约值开始，至远大于该频率，逐次调节音频信号发生器的输出频率（在出现共振的附近，频率间隔应尽可能取小一些），并记下相应的示波器荧光屏上的亮线的高度（幅度），将测量结果（至少观测10个频率）列成表格并画出曲线，给出音叉的固有频率。

附 录

PB-2 数字频率计使用说明。

PB-2 数字频率计是一种晶体管化电子表字式测量仪器。它的主要用途有：测量频率、测量周期、测量时间^{间隔}、计数等。同时还可做低频信号源，输出1 KHZ、10 KHZ、100 KHZ、1 M.HZ 四个标准频率和100 KHZ 范围内每隔1 HZ连续可变的低频信号。

仪器外表图



一、频率测量：

(1) 自检：将“工作选择”开关 K_1 拨至“测量 I”，这时单位指示灯“HZ”亮。“被测输入”杆孔接上电缆，电缆另一端依次连接四个“标频输出”杆孔进行测量，其读数应为标称值的 $\pm 1\text{Hz}$ 。

(2) 测量：仪器进行“自检”属正常后，即可进行频率测量。之前，先检查外测讯号是否符合要求（即输入波形为正弦波，方波脉冲波、输入幅度；正弦波 $0.5\text{V} \sim 10\text{V}$ （有效），方波脉冲波 $1.5\text{V} \sim 30\text{V}$ （P-P），若输入电压有直流成分，其直流电压与交流峰值电压之和不得超过 40V ，若输入电压过大，建议采用电阻分压，直流成分电压过大，建议外加耐高压电容，否则会损坏仪器。进行了上述检查后，即可将电缆接至所需测量之讯号，即可读得测量之频率。若需读得一位小数，可将“工作选择”开关拨到“测量 II”。

二、时间及周期测量：

(1) 自检：将“工作选择”开关拨至“周期”。这时单位指示灯“ μS ”亮。“被测输入”杆孔接上电缆，电缆另一端依次连接三个“标频输出”杆孔 100KHz 、 10KHz 、 1KHz 进行测量。其读数应分别为 $10\mu\text{S} \pm 1\mu\text{S}$ 、 $100\mu\text{S} \pm 1\mu\text{S}$ 、 $1000\mu\text{S} \pm 1\mu\text{S}$ 。

(2) 测量：仪器经“自检”属正常后，即可进行“时间”或“周期”测量。在进行测量之前，先检查外测讯号是否符合要求，即上述(1)条件。同时在测时间时；要求输入波形为负脉冲；上升沿 $<1\mu\text{s}$ ，幅度 $3\text{V}\sim 10\text{V}$ (P-P)；周期测量时，要求输入波形为正弦波，幅度为 $3\sim 6\text{V}$ (有效值)。测量时，将电缆接至所需测量之讯号。

a. 测时间：一次测量即可读得测量的时间权。

b. 测周期：经十次测量后，读权的算术平均值即为周期权。

三、计数：将“工作选择”开关拨至“计数”。“被测输入”杆孔连接所需计数讯号，“计”、“停”讯号分别接在面板“计”、“停”杆孔。当“计”讯号输入时，计数器计数。“停”讯号输入时，停止计数。

四、低频讯号输出：

(1) 将“工作选择”开关拨至“输出I”，BK1-5拨至“0”位。

(2) BK4拨至“5”，观察计数器的读数为 5000Hz ，若小于(或大于)此值时，必须缓缓地(或“+”或“-”)方向旋动 Δf 旋钮，直至 5kHz 一点校准为止，然后将BK4再拨至“0”位。

(3) 把“讯号输出”连接至所需地方，选择BK1~5拨至所需频率，就可输出所需频率的低频讯号。需要提高测量精度，可将“工作选择”开关拨至“输出II”，频率指示值增加一位小数。

实验十四 电表的改装和校准

目的：1. 了解电流计改装成安培计，伏特计的原理和方法；

2. 学会校准电表的方法。

仪器用具：电流计、电阻元件、电池组、校准用的安培计、伏特计、滑线变阻器，电阻箱。

概述：

指针式电流计（或单量程的微安表）只能测量很小范围的电流，通过改装可以作成多种量程的安培计或伏特计，用以测量各种数值范围的电流或电压。

一、电流的测量与分流电阻的计算。

一个电流计与适当大小的电阻并联可以组成某一量程的安培计。

如图一。 R_s 称为分流电阻。

R_g 为电流计内阻。设电流

计偏转满度时的电流为 I_g ，

通过分流电阻的电流为 I_s ，

则有：

$$I_g R_g = I_s R_s \quad \text{----- (1)}$$

变换后可得

$$\frac{I_s + I_g}{I_g} = \frac{I}{I_g} = \frac{R_s + R_g}{R_s} \quad \text{----- (2)}$$

这里， $I = I_s + I_g$ 为改装后安培计的量程。令 $N = I/I_g$ 为扩大量程的倍数，则分流电阻 R_s 由下式计算：

$$R_s = \frac{R_g}{N-1} \quad \text{----- (3)}$$

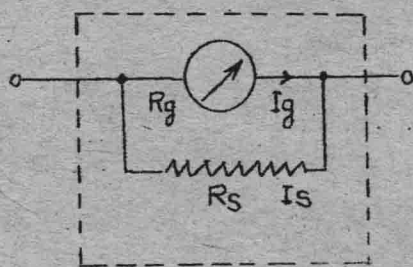
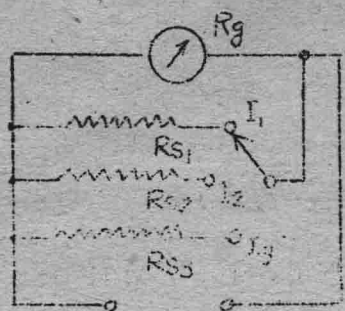


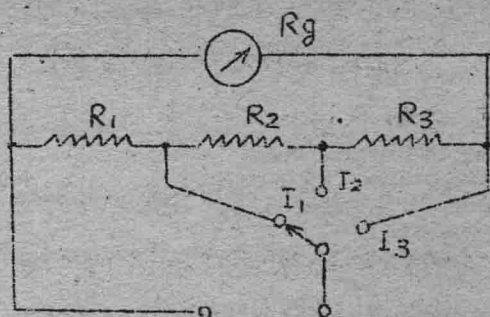
图 一

即是说, 用一个内阻为 R_g , 满度电流为 I_g 的电流计改装成量程为 I 的安培计, 需并联一个分流电阻 R_s , 其值由 (3) 式求出。

如要求安培计有多个量程 I_1 、 I_2 、 I_3 , 其分流电阻的连接方式有两种: 开路式 (图二 a) 和闭路式 (图二 b)。



图二 a



图二 b

对于开路式, 各个量程的分流电阻 R_{s1} 、 R_{s2} 、 R_{s3} 各自独立由 (3) 式求出。

对于闭路式, 量程为 I_1 时, 分流电阻为 $R_{s1} = R_1$, 量程为 I_2 、 I_3 时分流电阻分别是 $R_{s2} = R_1 + R_2$, $R_{s3} = R_1 + R_2 + R_3$ 。 R_1 、 R_2 、 R_3 的计算公式可导出如下:

由 (2) 式可得: (注意: I_1 、 I_2 、 I_3 是安培计的量程)

$$I_1 R_{s1} = I_2 R_{s2} = I_3 R_{s3} = I_g (R_g + R_1 + R_2 + R_3) \quad \text{----- (4)}$$

令 $N_3 = I_3 / I_g$ 则:

$$(R_1 + R_2 + R_3) = R_g / (N_3 - 1)$$

$$R_1 = R_{s1} = \frac{I_g}{I_1} (R_g + R_1 + R_2 + R_3)$$

$$R_2 = \frac{I_g}{I_2} (R_g + R_1 + R_2 + R_3) - R_1$$

$$R_3 = R_{s3} - (R_1 + R_2)$$

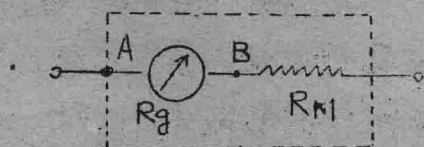
二、电压的测量与附加电阻的计算。

一个电流计与高阻值的电阻串联, 可组成量程为 V 的伏特计,

如图三。 R_M 称为附加电阻。电流计内阻为 R_g ，当电流计偏转满度时，对应的电流为 I_g ，则有

$$V_{AB} = I_g R_g$$

$$V = I_g (R_g + R_M) \quad \text{----- (5)}$$



图三

令 $M = V/V_{AB}$ 为扩大量程的倍数，

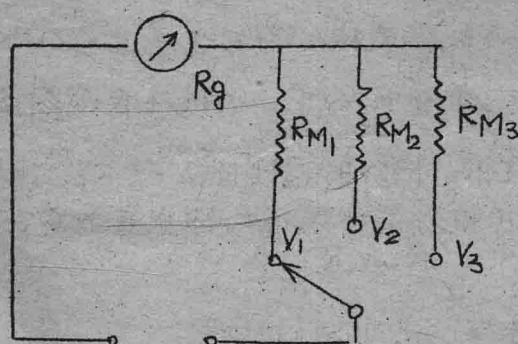
则附加电阻 R_M 由下式决定：

$$R_M = (M - 1) R_g \quad \text{----- (6)}$$

$(R_g + R_M)$ 为伏特计的内阻。由于测量电压时，伏特计与被测电路并联，有分流作用，影响被测电路的状况，故要求伏特计的内阻愈大愈好。实际工作中常以每伏特量程的内阻来表示伏特计内阻的大小（亦称灵敏度，用 γ 表示）。由 (5) 式得

$$\gamma = \frac{R_g + R_M}{V} = \frac{1}{I_g} \quad \text{----- (7)}$$

可见伏特计的灵敏度 γ 等于电流计满度电流 I_g 的倒数。因此，若要用一个内阻为 R_g ，满度电流为 I_g 的电流计改装成量程为 V 的伏特计，所需串联的附加电阻 R_M 由 (6) 式或 (7) 式求得。多量程的伏特计由电流计分别串联不同的附加电阻 R_{M1} 、 R_{M2} 、 R_{M3} ... 组成，如图四。



图四 电流计组成多量程伏特计

三. 校准电表的一般知识

电学测量仪表使用一段时间以后, 或者经过修理、改装以后, 都要进行校准。所谓校准, 就是用准确度更高的标准仪表与被校仪表同时接入电路进行比较。对于电表的校准, 需要注意几点:

1. 根据被校表的类别和准确度, 选择校准的方法和线路。校准安培计的线路如图五(a), 校准伏特计的线路如图五(b)。

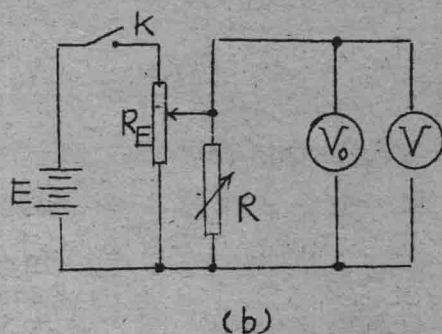
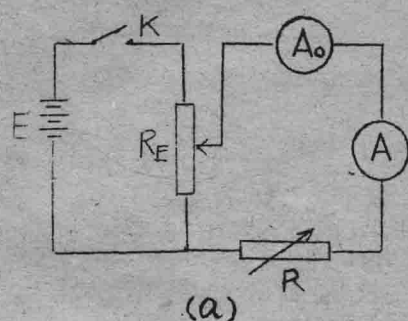


图 五

(校准准确度较高的电表要用电位差计, 这里不作介绍)。图五(a)线路中的电阻箱 R 是为了平稳地调节电流强度而接入的。图五(b)线路中的电阻箱 R 的取值必须比滑线电阻 R_E 的阻值大几倍。

作为标准的安培计 A_0 或伏特计 V_0 的量程应稍大于被校表的量程。其准确度等级必须比被校表面 1 至 2 级。

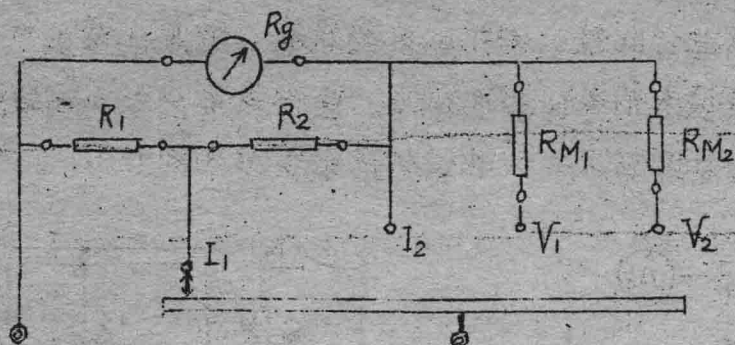
2. 必须对被校表刻度尺上每个有数字的分度进行测量(包含 0 和满分度), 并且需在电流上升和下降的情况下各作一次测量。

3. 校准结果列出数据表格, 取标准表上升和下降两次读数的算术平均值作为测量结果的实际值。以被校表的刻度数 α 为横坐标, 实际值为纵坐标, 作校准曲线 $I_0 \sim \alpha$ 和 $V_0 \sim \alpha$ 。以后根据被校表的偏转值 α_x , 即可由校准曲线得知被测量的实际值。

实验内容

将给定的电流计(内阻 R_g 和满度电流 I_g 已测定, 由实验室

实验改装线路如图六。



圖六

注意事项:

1. 各电阻的计算必须注意有效数字的正确取位。实际使用的每组电阻，有一定的偏差，其对实验结果的影响，由实验者进行分析。
2. 所用电阻固定在小塑料块上，安装和拆除电阻时用手拿塑料块，不要拔弄电阻，以免损坏。
3. 校准电表的数据表格可参考如下格式：

安培计量程 I₁ 的校准结果:

被校表 刻度值 α	0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
标准表 I_0 (毫安)						
I'_0 (毫安)						
$\bar{I}_0$ (毫安)						

实验十五 电子束线的电偏转

目的要求：

1. 掌握利用外加电场使电子束偏转的原理和方法。
2. 了解示波管的构造和作用。
3. 测定偏转灵敏度。

仪器用具：

BSJ-37 示波管及经改接的附件 (SB-10 示波器)
调压变压器、节电变压器、交流电压表、直流电压表。

概述：

利用电场对带负电荷的质点——电子产生偏转。

控制从阴极发射出来的电子使它汇聚成电子束，当电子束打到荧光屏时，荧光屏上显示出光点。如果在电子束运动的途径中加入两组互相垂直的平行电极（偏转板），并加以不同的偏转电压，则电子束将受到它们的作用而产生不同的偏转，从而在荧光屏上显示出不同的轨迹。这就是示波管的工作原理。

由于电子的荷质比 e/m 很大，电子束受偏转电压的作用能够极其快速的偏转，非常适合观察快速变化的电过程；电子并不打到偏转板上，故偏转板基本上不消耗功率而具有很高的输入阻抗。因此，电偏转示波管广泛用于示波器，快速脉冲测量，雷达和扫描电子显微镜等方面。

电偏转是通过在垂直于电子射线束的方向上外加电场来实现的。最简单的情况如图一所示。 Y_a 和 Y_b 是在空间放置的两块平行偏转板（垂直偏转板），其上加偏转电压 V ，电子束经加速后以速度 $\vec{v}$ 沿 x 方向射入，偏转电场 $\vec{E}$ 与 y 轴平行，垂直于入射电子的方向。电子进入电场 $\vec{E}$ 后，受到逆电场方向作用力 $-e\vec{E}$ (e 为电子

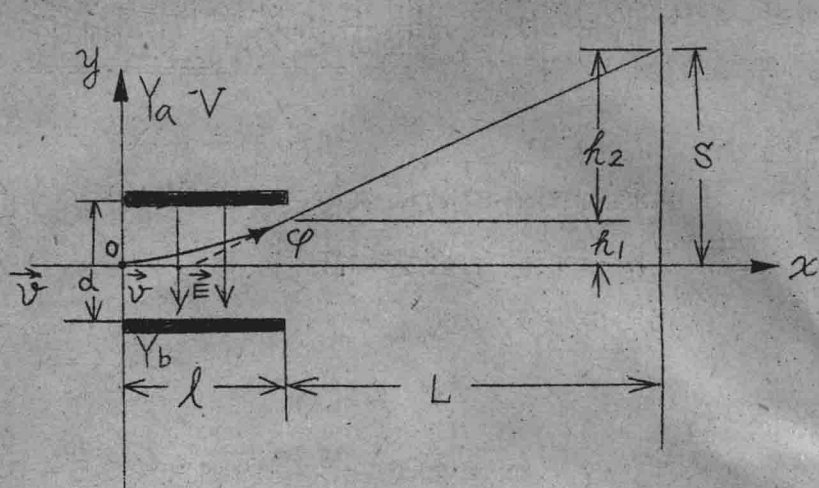


图 一

电荷; $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 库仑, 负号表示电子带负电荷), 使电子运动轨迹发生偏转。

设偏转电场 $\vec{E}$ 在偏转板长度 l 内是均匀的, 两板间距离为 d , 由平行板电场公式得:

$$E_y = \frac{V}{d}$$

而在偏转板以外, 电场为零, 电子不受作用力。

设电子在进入偏转板之前, 受加速电极电压 U_a 的作用, 获得的动能为

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U_a$$

即具有速度

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} U_a}$$

在 $t = 0$ 时, 电子由坐标原点进入偏转电场, 这时电子初速度为 $\vec{v}$ (其方向与 x 轴平行)。电场在 y 轴方向, 电子在 x 轴方向没有外力作用, $v_x = v$, 其 x 方向的位移为

$$x = v t = \sqrt{\frac{2e}{m} U_a} t \quad \text{----- (1)}$$

在 y 轴方向上 $v_{y0} = 0$ ，电子受电场作用力为 $-eE$ ，作初速度为零的匀加速运动，其加速度为：

$$a_y = -\frac{eE}{m} \quad \text{-----} \quad (2)$$

式中 m 为电子质量 ($m = 9.1 \times 10^{-31}$ 千克)，负号表示加速度与电场方向相反。

由此，电子在 y 方向的位移与时间的关系 (运动方程) 为：

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{eV}{md} t^2 \quad \text{-----} \quad (3)$$

从 (1)、(3) 式消去 t ，得到电子在偏转电场中的运动轨迹

$$y = \frac{E}{4U_a} x^2 = \frac{V}{4U_{ad}} x^2 \quad \text{-----} \quad (4)$$

它表明电子在偏转板内运动轨迹为一抛物线。当电子离开偏转板长度 l 的区域后，就不再受到 y 方向的作用力，这时电子将沿末点轨迹的切线方向运动，最后到达荧光屏上。设此切线与 x 轴所成偏转角为 φ ，则电子离开偏转板时， y 方向的偏转距离为：

$$h_1 = \frac{V}{4U_{ad}} l^2$$

电子离开偏转板后，作直线运动。设偏转板到荧光屏的距离为 L ，则

$$h_2 = L \tan \varphi = \frac{1}{2} \frac{Vl}{U_{ad}} L$$

其中

$$\tan \varphi = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=l} = \frac{Vl}{2U_{ad}}$$

若电子在荧光屏上的偏转距离为 S ，则有：

$$S = h_1 + h_2 = \frac{Vl}{2U_{ad}} \left(\frac{l}{2} + L \right) \quad \text{-----} \quad (5)$$

令 $L' = \frac{l}{2} + L$, 代入 (5) 式得

$$S = \frac{1}{2} \frac{V l L'}{U_{ad}} = \delta V \quad \text{----- (6)}$$

从 (6) 式得到一个重要结论: 在电极尺寸确定条件下, ① 荧光屏上电子束的偏转距离 S 与偏转电压 V 成正比, ② 偏转距离 S 与加速电压 U_a 成反比。通常 U_a 保证电子有足够的能量打到荧光屏使之发光。偏转距离 S 与偏转电压成正比 (线性关系) 使荧光屏能正确地反映加在偏转板上的电压的变化规律, 以正确地显示其波形。

衡量一个偏转系统的性能, 常用偏转灵敏度的概念。偏转灵敏度 δ 表示每伏特偏转电压引起多少毫米的偏转距离, 即

$$\delta = \frac{S}{V} \quad \text{----- (7)}$$

单位为毫米/伏特。

利用电场使电子偏转的原理造成示波管, 它的结构如图二。全部电极装在一玻璃泡

中, 内部抽成高真空, 电极引线除末级加速极直接从管泡上引出外, 其余均经管座引出。灯丝, 通常它把阴极 K 加热到使

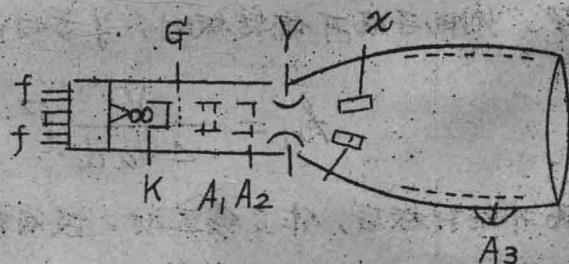


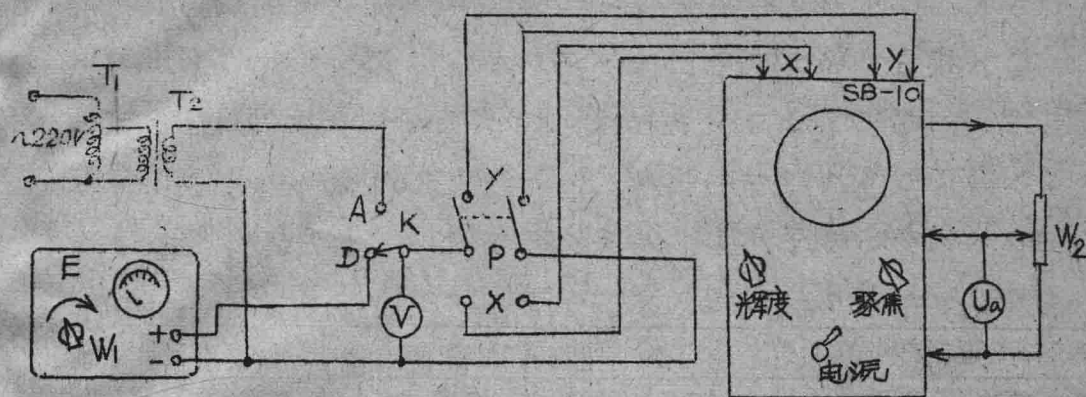
图 二

它能发射电子。栅极 G 加上一个对阴极为负电压, 它的大小控制电子发射的多少。用以改变荧光屏上的光点的亮度。 A_1 、 A_2 为第一、第二阳极, 构成电子枪。使电子聚集成细束并以 v 的速度进入偏转板, 第二阳极所加的电压 U_a 称加速电压。 Y 和 X 是垂直和水平两对偏转板。 A_3 是使电子有更高的能量打到荧光屏使之发光。实验中使用的示波管是 13SJ37, 它的灯丝电压为 6.3 伏, U_a

为1000到1500伏特。

实验内容

本实验是利用SB-10示波器的示波管13SJ37,“辉度”调节和“聚焦”调节仍在示波器面板上,但加于X偏转板和Y偏转板的电压 V 由仪器后面相应的杆孔杆入。 U_a 电压由仪器内引出加以调节和测量。实验装置和线路如图三所示。



图三. 电偏转观测装置

T_1 是调压变压器(也称自耦变压器), T_2 为隔离变压器(节电变压器), 用以得到所需大小的交流电压。 E 为晶体管稳压器, 调压电位器 W_1 可得到所需直流电压。 V 为交直流两用电压表。 K 为单刀双掷电键, P 为双刀双掷电键。实验要求测定 X 、 Y 偏转位移 S 与加在 X 、 Y 偏转板的电压 V 的关系, 以及加速电压 U_a 对偏转灵敏度的影响。

一、测定 Y 偏转位移 S 与偏转电压 V 的关系。

按图三连接好电路, 经检查无误后开始测量。调 W_2 使 $U_a = 1500$ 伏特, 使 P 接通 Y 偏转板。 K 接 D (加直流电压于 Y 偏转板)调节 W_1 使 $V_0 = 0$, 经一分钟后可见到萤光屏上出现一亮点。调节“辉度”旋钮和“聚焦”旋钮使亮点直径最小最清晰为止(但不要太高)。调节“X轴位置”和“Y轴位置”使亮点在萤光屏中心。