

电子示波器原理

孙怀川 编著

黑龙江人民出版社

PDG

电子示波器原理

孙 怀 川 编著

黑龙江人民出版社

1974年·哈尔滨

内 容 提 要

本书是一本讲述电子示波器原理的普及读物。

全书共分六章。第一章讲示波管的结构和电子发射的原理；第二章讲图象的形成和李沙育图形的应用；第三、四两章分别讲垂直和水平系统各部分电路的工作原理；第五章讲时标与校幅电路的工作原理；第六章讲稳压电源和示波管供电电路的工作原理。

为了便于广大读者学习，在讲述时，着重于物理过程的分析，尽量避免烦琐的数学推演，并采用了电子管电路和晶体管电路相比较，基本电路和实际电路相结合的方法。内容由浅入深，联系实际。

本书可供电子示波器的研制、使用、维修人员及有关专业的师生参考。

电子示波器原理

孙 怀 川 编 著

黑 龙 江 人 民 出 版 社 出 版

(哈尔滨市道里森林街14-5号)

牡 丹 江 印 刷 厂 印 刷 黑 龙 江 省 兵 事 学 堂 发 行

开本 787×1092 毫米 1/32 · 印张 6 · 字数 120,000

1974年5月第1版 1974年5月第1次印刷

印数 1—6,000

统一书号：15093·18

定价：0.42 元

目 录

第一章 示 波 管

第一节	示波管的构造	1
第二节	电子发射	2
第三节	聚焦	3
第四节	偏转系统	6
第五节	荧光屏	10
第六节	偏转后加速	11
第七节	高频性能	12

第二章 图 象

第一节	图象的形成	14
第二节	时基与波形	15
第三节	李沙育图形	19

第三章 垂 直 系 统

第一节	放大原理	23
第二节	对称偏转	29
第三节	倒相放大器与差动放大器	31
第四节	末级放大器	35
第五节	级间耦合方式	37

第六节	频率特性	40
第七节	过渡特性	44
第八节	低频补偿	46
第九节	高频补偿	51
第十节	阴极输出器与射极跟随器	54
第十一节	衰减器	56
第十二节	放大微调与增益扩展	59
第十三节	垂直位移电路	61
第十四节	延迟线	64
第十五节	垂直系统的实际电路	67
第十六节	双踪示波器的垂直系统	71

第四章 水平系统

第一节	扫描电路的基本原理	75
第二节	闸流管扫描发生器	80
第三节	简单的连续扫描发生器	81
第四节	简单的触发扫描发生器	87
第五节	非线性系数和直线化扫描方法	91
第六节	恒流源扫描电路	93
第七节	自举扫描电路	99
第八节	密勒扫描电路	104
第九节	闸门电路	111
第十节	释抑电路	116
第十一节	扫描发生器的实际电路	117
第十二节	增辉或消隐电路	121

第十三节	双路扫描·····	124
第十四节	水平放大器·····	133
第十五节	同步与分频·····	138
第十六节	同步电压·····	140
第十七节	同步电路·····	143

第五章 附属电路

第一节	时标电路·····	152
第二节	校幅电路·····	162

第六章 电 源

第一节	稳压器·····	169
第二节	直流变换器·····	178
第三节	示波管供电电路·····	180

第一章 示波管

示波管也叫阴极射线管。其作用是显示图象。有电磁式和静电式两种，在示波器中都是采用静电式示波管。静电式示波管又分为单枪示波管和多枪示波管。

第一节 示波管的构造

示波管由电子枪、偏转系统、荧光屏及屏蔽极所组成。近代示波管还有第三阳极。

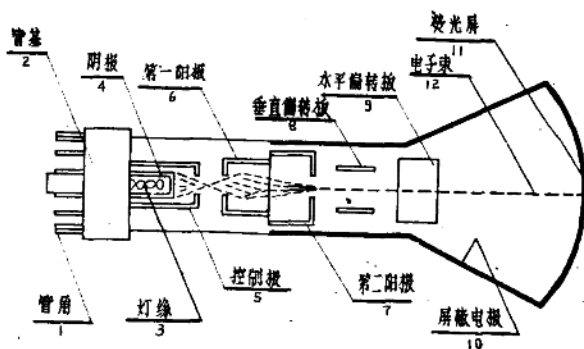


图 1·1 示波管的构造

电子枪包括阴极、控制极(也叫栅极)、第一阳极和第二阳极。阴极起发射电子的作用。控制极能够控制电子束的强度，从而控制了荧光屏上光迹的亮度。第一阳极与第二阳极，它们对阴极加正电压，对电子束起加速作用，同时还起

“电子透镜”作用，使电子束聚焦。

偏转系统包括垂直偏转板和水平偏转板，它们的作用是使电子束偏转，从而在荧光屏上展开图象。

荧光屏在电子束轰击时能够发光，从而使图象显现出来。

屏蔽极的作用是吸收由荧光屏上反射回来的二次电子，消除二次电子空间电荷的有害影响。

第二节 电子发射

电子是从阴极发射出来的。即当阴极被灯丝加热到一定温度时，阴极上电子的运动速度增大。克服了表面正离子的吸引力而飞出金属的表面，就开始发射电子了。

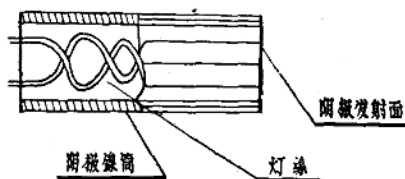


图 1.2 阴极的构造

阴极发射的电子要受控制极和加速阳极的控制。

控制极对阴极加负偏压。它对电子束的控制作用如图 1.3 所示。在 (1) 中，偏压为 -1 伏，这时，由第一阳极发出的电力线大多数通过控制极的圆孔到达阴极的表面，发射面大，电子束的密度大，荧光屏上光点亮度就强。在 (2) 中，偏压为 -30 伏，这时，由第一阳极发出的电力线只有少数几条到达阴极的表面，阴极的发射面缩小了，电子束的密度也降低了，于是荧光屏上光点的亮度也减低了。如果偏压降低到截止偏压时，则第一阳极发出的电力线被控制极的负电场阻

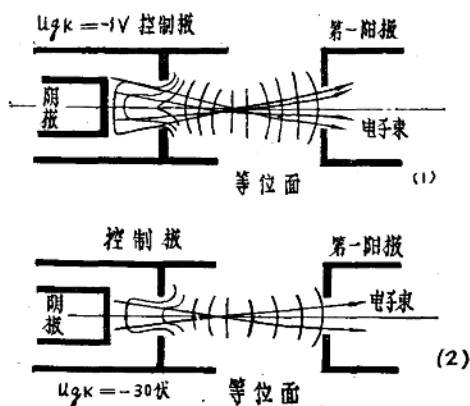


图 1.3 控制极对电子束的控制作用

止，不能到达阴极的表面，阴极便不能发射电子，荧光屏上也就没有亮点了。

第三节 聚 焦

从阴极发射出的电子束一面向前运动，一面向外散射。为使电子束聚集在一起，就要做必要的控制工作。由第一阳极和第二阳极构成的“电子透镜”，可使电子束在通过“电子透镜”时被聚焦。适当调节第一、第二阳极电压就可以使荧光屏上的光迹聚焦成一点。

用电子通过不同的等位面 A 、 B (图 1.4) 为例来说明“电子透镜”的聚焦原理。设 A 边的电位为 V_A ， B 边的电位为 V_B ，而 $V_B > V_A$ 。若电子以 v_A 的初速度由 A 边飞向 B 边，则 v_A 可分解为两个速度，当运动到等位面的分界线时，在法线方向受到加速电场的作用，而在切线方向不受力的作

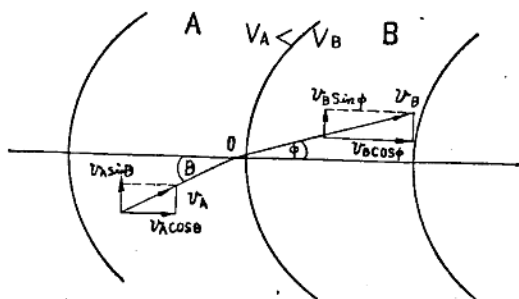


图 1·4 电子在通过两个不同的等位面时的运动情况用。故：

$$v_A \sin \theta = v_B \sin \phi \quad (1-1)$$

式中： θ 为入射角，

ϕ 为折射角。

又因为电子在电场中运动的能量与该点的电位成正比，所以：

$$\frac{1}{2} m v_A^2 = e V_A$$

$$\frac{1}{2} m v_B^2 = e V_B$$

故：

$$v_A = \sqrt{\frac{2eV_A}{m}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2eV_B}{m}}$$

得：

$$\frac{v_B}{v_A} = \frac{\sqrt{V_B}}{\sqrt{V_A}} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \quad (1-2)$$

由 (1—2) 式可知:

$$v_B > v_A \text{ 及 } \phi < \theta.$$

由于折射角 ϕ 小于入射角 θ , 所以, 电子在通过此向外凸起的等位面时, 就要靠近水平轴线而聚焦。电子束通过不同等位面时的运动情况如图 1.5 所示。

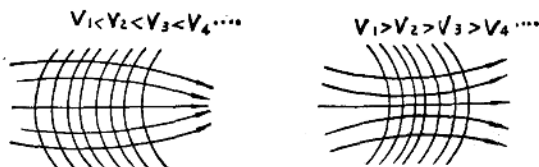


图 1.5 电子束通过不同的等位面时的运动情况

在示波管中, 第一阳极对阴极加有数百伏的高压, 第二阳极比第一阳极电压还要高很多。当电子束穿过第一阳极时, 由于电位不断升高, 等位面向外凸起, 所以, 电子束就要靠近水平轴而聚焦。而通过第二阳极后电子束虽有散焦趋势, 但由于第二阳极的加速作用, 电子飞行速度很快还没有来得及散开就通过去了。在示波器中, 通常都用电位器来调节第一阳极和第二阳极电压, 分别做为“聚焦”和“辅助聚焦”调节器。

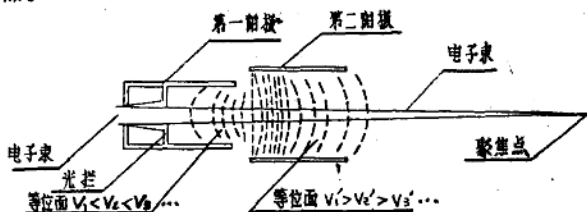


图 1.6 第一阳极与第二阳极组成的“电子透镜”的聚焦作用

第一阳极和第二阳极除组成“电子透镜”使电子束聚焦外，对电子束还起加速作用，通常把第一阳极叫聚焦极而把第二阳极叫加速极。

此外，在第一阳极内还有几个“光栏”，其作用是拦住电子束边缘的散射电子，使它们不能飞到荧光屏上。

第四节 偏转系统

偏转系统包括垂直偏转板和水平偏转板。这两对偏转板相互垂直，与电子枪在同一轴线上。

电子束在通过这两对偏转板时，受到偏转板上控制电压的作用而产生偏转。这样，控制电压便通过偏转板而控制了电子束的偏转，使荧光屏上光点的运动轨

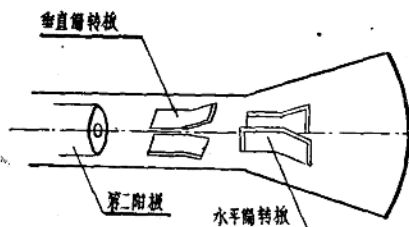


图 1-7 示波管内的两对偏转板

迹按加在两对偏转板上的控制电压而变化，这就描绘出了图象。

在图 1.8 中， A 板带正电压， B 板带负电压。电子束沿 z 轴方向前进，当进入平行板后，由于电子带负电荷，所以，带正电压的 A 板就要吸引，而带负电压的 B 板就要排斥，这样，在电场的作用下电子在向前运动的同时还向上运动，因此电子束运动的轨迹呈抛物线状。如果 A 板加负电压， B 板加正电压，则电子束的运动轨迹是斜向下方的抛物线，如图 1.8 之虚线所示。

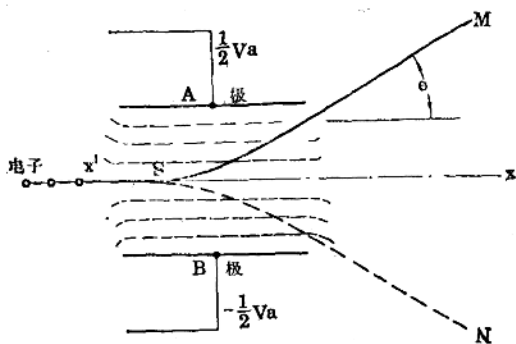


图 1-8 电子束通过平行板时的运动情况

飞出平行板电场时的运动方向和水平轴 x' 所构成的夹角 θ 叫做偏转角。偏转角的大小与两平行板间的电位差 V_a 、平行板长度 l 、平行板间距离 a 、第二阳极所加的电压 E_a 有关，即： V_a 越大电场强度越强，对电子束的作用力越大，偏转角也就越大； l 越长对电子束的作用时间越长，偏转角也就越大； a 越小平行板间电场强度越强，对电子束的作用力就越大，偏转角也就越大； E_a 越低飞进平行板的速度也越低，电子束通过平行板的时间也就越长，偏转角也就越大。

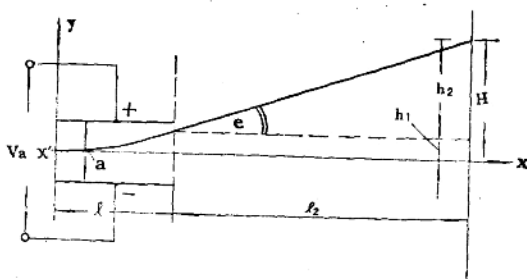


图 1-9 电子束的偏转距离

光点偏离荧光屏中心的距离叫偏转距离。偏转距离的大小与偏转角及偏转板中心到荧光屏中心的距离有关。

我们知道，电子在平行板中纵向运动的轨迹方程为：

$$y = \frac{eE}{2mv^2} \omega^2 \quad (1-3)$$

式中， E 为平行板间的电场强度， $E = \frac{V_a}{a}$ ，

v 为电子运动速度， $v = \sqrt{\frac{2eE_a}{m}}$ 。代入(1-3)式即得：

$$y = \frac{V_a}{4aE_a} \omega^2 \quad (1-4)$$

电子通过平行板后的偏转为：

$$h_1 = \frac{l^2 V_a}{4aE_a} \quad (1-5)$$

偏转距离：

$$H = h_1 + h_2$$

$$h_2 = l_2 \tan \theta$$

由于

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{eE}{mv^2} \omega$$

得：

$$\tan \theta = \frac{V_a l}{2aE_a}$$

$$h_2 = \frac{V_a l l_2}{2aE_a}$$

所以

$$H = \frac{l^2 V_a}{4aE_a} + \frac{V_a l l_2}{2aE_a}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{V_a l}{E_a a} \left(\frac{l}{2} + l_2 \right)$$

设 $L = \frac{l}{2} + l_2$, 则得:

$$H = \frac{l L V_a}{2 a E_a} \quad (1-6)$$

式中, L 为平行板之中心到荧光屏的距离, L 值越大则电子束运动的时间越长, 偏转距离也就越大。

偏转板上加一伏电压时的偏转距离叫偏转灵敏度, 用 A 来表示:

$$\begin{aligned} A &= \frac{H}{V_a} \\ &= \frac{l L}{2 a E_a} \text{ (毫米/伏)} \end{aligned} \quad (1-7)$$

有时也用偏转因数来表示偏转电子束的能力。偏转因数是光点在荧光屏上偏转单位距离时需要加在偏转板上的电压, 用 B 表示:

$$\begin{aligned} B &= \frac{V_a}{H} \\ &= \frac{2 a E_a}{l L} \text{ (伏/毫米)} \end{aligned} \quad (1-8)$$

这是指偏转板上所加电压为直流电压时的情况, 当加交流电压时, 将随着交流电压频率的改变其偏转灵敏度和偏转因数也随之改变。偏转灵敏度要随着交流电压频率的升高而降低。

第五节 荧光屏

在示波管屏幕的内表面上涂薄薄的一层结晶磷光体就构成了荧光屏。磷光体是由荧光质和极少量的金属激活剂及少量的助熔剂经过高温处理而制成的。荧光质主要是一些硫化物，如硫化锌、硫化镁、硫化钼等，或是一些盐类，如钨酸盐、硅酸盐等。常用的助熔剂有氯化钠和氟化钙。一般纯种的荧光质不发光，所以要加少量的金属激活剂，使荧光质的性格“活跃”起来，这样，在高速电子束轰击时就可以发光了。

荧光屏发光的颜色与所用的金属激活剂和荧光质有关。如硫化锌加少量银发青色光，若加铜则发青绿色光，若加锰则发橙色光。此外，与金属激活剂的用量有关，如以硫化锌为荧光质加银量多一些则发红色光。

发光时间也是由磷光体决定的。示波管按发光时间长短可分为长余辉、中余辉和短余辉三种。中余辉示波管用途最广，长余辉示波管主要用于低频示波器和雷达显示器中，短余辉示波管主要用于高频连续信号的显示器中。为了加长余辉时间，通常在荧光屏上先涂一层持久性长的磷光体而后再涂一层持久性短的磷光体，这样既不影响第一层的发光颜色，又能增强持久性。

为了增强荧光屏的发光强度，一些示波管采用了铝背荧光屏，即在磷光体上再涂一层铝膜。这样，在铝膜的反射作用下，使荧光屏的发光强度提高了。

第六节 偏转后加速

近代示波管，大多数是偏转后加速的示波管。所谓偏转后加速，就是电子束通过偏转板后又被加速了。实现偏转后加速的办法是在偏转板和荧光屏之间装有后加速阳极，也叫第三阳极。这就是在偏转板与荧光屏之间，把屏蔽极的石墨导电层开一个宽约6—12毫米的环状间隔，并涂一层高阻半

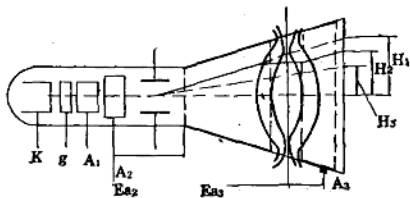


图 1·10 第三阳极的构造及对灵敏度的影响

导体以防止两电极的击穿，在靠近荧光屏部分的导电层用金属封接并做为第三阳极的引出点。在第三阳极上加有比第二阳极高4—5倍的正高压。这样，电子束在运行的末段受到第三阳极电场的作用，使电子飞行速度加快，荧光屏上的光点亮度也就提高了。但偏转灵敏度要下降，为了不使灵敏度有明显下降，一般采用多级加速和螺旋加速方法。多级加速就是在荧光屏和偏转板之间的石墨导电层上开多个环状间隔，做成多个辅助阳

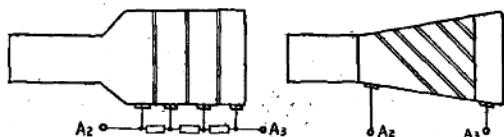


图 1·11 多级加速示波管和螺旋加速示波管