

第一章 电子示波器

1.1. 引言

用以描繪或攝制所研究的交变电压或电流的瞬时值图形的仪器称为录波器。而示波器则是用来使人们能用眼睛观察所研究的交变电压或电流的仪器。差不多每一个录波器都可以当作示波器来用,反之,差不多每一个示波器都可以当作录波器来用。因此,在本书中,录波器和示波器两个术语不加以特别区分。

示波器分为两类:有惯性的和无惯性的^①。这样的示波器是属于有惯性之列的,即在其中所研究的电压或电流作用于具有大惯性的动力系统上。由于这个原因,这类示波器只能用于约10千赫以下的低频范围。在“电磁测量”课程中所研究过的磁电式(回线式)示波器就是这类示波器的最常见的型式。

所谓电子示波器,它是属于无惯性示波器之列的。在电子示波器中,利用高度聚焦的电子流(射线)来记录所研究的物理过程。电子流中的电子以高速向复盖着荧光剂的一个面(荧光屏)运动。在电子射线撞击到屏上的地方,形成了一个明亮的光点,这光点起着和磁电式示波器中的光点同样的作用。

但是,与磁电式示波器不同,电子示波器荧光屏上光点是由于电场或磁场对于电子射线作用的结果而产生。对于这种作用的反应实际上是无惯性的(甚然),所以利用电子示波器能够研究比利用

^① 不要以为无惯性的示波器是绝对无惯性的。在非常高的频率时才会出现惯性了。

的交变过程。但在非常高的频率时,电子示波器就不是完全没有惯性的设备了。

电子射线示波器的发展应当大大地归功于祖国(指苏联——译者注)的研究者们。早在1900—1904年波波夫(А. С. Попов)就利用电子射线管来从事于电磁振荡的频率和波形的研究。在1907年罗辛格(Л. Б. Розинг)首先提议采用电子射线管作电视用。在同一年曼吉尔斯坦姆(Л. И. Мандельштам)首先提出锯齿波扫描器的概念和电路。罗趾斯基(Д. А. Рожанский)曾研究了射线管的许多重要结构元件。

苏联的制造者和研究者们曾创造了一系列新颖的电子射线管结构和示波器设备的电路。例如,早在1924年,奥斯特罗乌莫夫(Б. А. Остроумов)提出了一种新颖的电子射线结构。在巴列夫(И. П. Полев)的领导下,发明并生产了充气的以及有聚焦电极的КОП型电子射线的工业样品。后来КОП型管又被扬车夫斯基(К. М. Янчевский)所改进。

在最近的关于在示波器的理论和技术方面的工作中,应该指出俾克新斯基(С. А. Векшинский),车汉诺维奇(В. М. Цеханович),阿斯特里恩(В. А. Астрин),米哈意罗夫(В. А. Михайлов),肩莫法也夫(Л. В. Тимофеев),格林贝尔格(Г. А. Гринберг)等人的工作,特别是斯切可里涅可夫(И. С. Стекольников)的工作,后者在他亲自制造的示波器上创造了描绘速度的新纪录。现在,在苏联研究出了各种用途的极臻的电子射线管,以及许多型式的示波器设备。

1.2. 低压电子射线管

电子射线管的型式

电子射线管可分为两类: 高压管和低

一律采用低压管,这种管的特征

是具有热阴极。因此,下面只描述低压管。

低压电子射线管本身是一个密封的、形状特殊的玻璃管子,管内的空气已被抽出。在管中安置:1)电子枪,它是一个用来造成具有高速的窄细电子射线的装置;2)用来控制射线的装置;3)涂在管底内壁的荧光层,它起着屏的作用,光点就是在它上面出现的。

低压电子射线管分为充气的和真空的两种。其间的差别是在于电子射线聚焦方法不同。但在目前充气管已不用了。

根据射线的控制和聚焦的方法,真空管又分为两类:1)利用电场来实现电子射线聚焦和控制的管子;2)利用磁场来实现电子射线聚焦和控制的管子。用磁场电场混合控制电子射线以及把它聚焦也是可行的。

用电场来控制电子射线并使其聚焦时,对产生这个电场的电压电源来说,它所受的负载要比用磁场聚焦和控制时的小得多。这一点对于射线的控制来说特别重要。照例,为了利用被研究的电压以及避免不希望有的反应起见,与被研究的电压电源相连接电子射线管的控制机构,必须使前者所受到的负载要尽可能轻一些。此外,在用电场控制的射线管中,射线的偏转在非常宽的频段内都正比于作用的电压。

在磁场控制的电子射线管中,利用电感线圈作为控制机构,射线的偏转正比于流过线圈的电流。因此,当把大小不变而频率不同的控制电压引入到这样的机构时,射线的偏转将反比于频率,这就可能在测量时招致显著的误差。由于这个原因,在为测量用的示波器中,只采用利用电场聚焦和控制的电子射线管。

5. 电子射线管的装置

用电场聚焦和控制的最典型的现代电子射线管,其装置概略地示于图1.1。用来形成射线的电子枪由一组电极组成,这些电极以字母 K , M , A_1 和 A_2 来表示。发射电子的装置 K 本身是一个间接加热的氧化

物阴极。阴极的发射面尺寸要做得尽可能小而且要具有徑向对称的形状,以保証得到窄細的电子束。

电极 A_1 称为第一阳极,做成圓柱形(或盘形),它的軸綫与射綫管的軸相重合。有好几个間壁(中心穿孔的膜片)橫截第一阳极的軸綫而放置。对阴极而言,在第一阳极上加有約几百伏的正电压。由阴极发射出来的电子进入第一阳极的加速电場后,便作束状散开而向第一阳极运动。这时,有一部分电子落到第一阳极,形成第一阳极电路内的电流;而穿过阳极膜片小孔的那些电子,則沿着射綫管的軸向荧光屏繼續前进。在电子撞击到屏上的地方就产生光点。

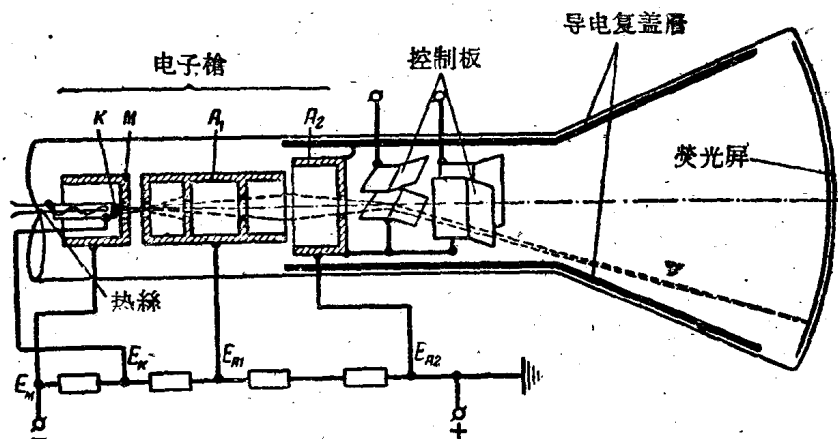


图 1.1 用静电控制和聚焦的电子射线管装置概略图

为了要得到清晰的波形,荧光屏上的光点必須足够亮,而且它的直徑要尽可能的小。当充分集中的电子射綫很窄細,而且以高速度到达荧光屏时,就可以达到上述的要求。电子射綫的集中借助于調制电极(調制极) M 来实现,它是一个圍着阴极的圓柱。在圓柱前面突出的一边上盖上一块膜片,在膜片的中央开了一个圓孔。調制极对于电子流大小的作用与电子管内的控制栅极相似。因此,当变动这电极与阴极相对的电位时,通过調制极的电流的数值就改变,結果荧光屏上的光点的亮度也就改变了。通常在調制极上加上不大的、对阴极而言是負的

电压。

第二阳极 A_2 是一个短圆柱，在对荧光屏的一端由一块膜片封盖起来，膜片中央有一个不大的孔。第二阳极紧置于第一阳极的前面，并且通常与“地”(机壳)相连接。在第二阳极上加有一个比第一阳极更高的正电压(约 1—5 千伏)。

借助于阳极 A_1 和 A_2 的电场，电子射线的电子获得所需的速度，此外，电子也可在射线管的荧光屏上聚焦。电子聚焦的原理可表述如下：在控制电极和第一阳极之间，以及在第一阳极和第二阳极之间产生了电场，这电场的等位线的布置见图 1.2a。电子射线的电子力求沿着电力线来运动，或者同样可以说，电子力求垂直于这些复杂电场的等位线来运动。因此，在等位线凸向阴极的那一部分电场里，电子都向着射线管的轴线偏转，也就是说，电子被聚集成一条更窄细的射线。在等位线凹入部分是朝着阴极的那一部分电场里，电子则偏离开射线管的轴线。

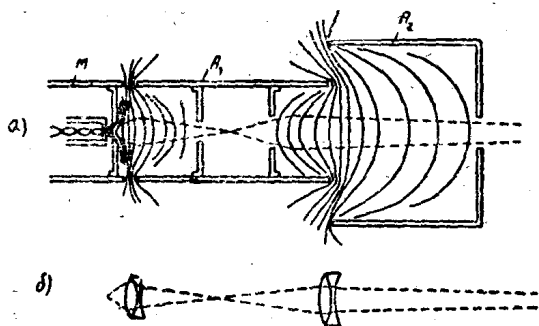


图 1.2 电子射线管内电场的等位线

上面所提到的每一个电场都构成了一种和两片光学透镜相似的、并称为静电电子透镜的系统(图 1.26)。在上述每一个电场中，等位线是用它自己的凸出部分朝着迎面飞来的电子的那一部分电场，相当于一块聚焦的双凸光透镜，而等位线是用它自己的凹入部分朝着迎面飞来的电子的那一部分电场，则相当于一块发散的双凹光透镜。借助于射线管各电极的适当的结构，以及借助于各电极之间电位差的选择，就

可达到上述装置的聚焦作用强于发散作用。

因为射綫管的结构有着軸向对称性，那末在正确地选择各电极間、的电位差的条件下，射綫的电子就和射綫管的軸相交——电子在荧光屏上的一个点上聚焦。在这种情况下，在荧光屏上就出现一个直径很小的明亮的光点。

在实际运用的条件下，上述的电場图只能用调节射綫管各电极电压的方法来改变，此外，通常只用改变称为聚焦阳极的第一阳极上的电压来实现射綫的聚焦。

上述电子枪的缺点在于调节调制极的电位(为了改变光点的亮度)会影响聚焦，而在改变第一阳极的电位来聚焦时，又会在一定的程度上影响光点的亮度。除此之外，落到荧光屏上的最大电子流是比较小的，因此光点的亮度并不太大。

具有三个阳极的电子射綫管(图 1.3)是上述电子枪的一种变体，在这种电子枪里，上面所指出过的缺点都不存在了。附加的阳极 A_3 安置在调制极和第一阳极(聚焦阳极)之間。它通常具有盘形或浅杯的形状，和第二阳极相连接。因为阳极 A_3 直接位于调制极 M 之后，所以在介于它們之間的区域中，电子获得了一种与第二阳极的电位相应的速度，因而在调制极为零电位的情况下所能得到的最大电流之值就增大了。此外，电极 A_3 的作用如同一个屏蔽罩一样，因而很显著地减弱了第一阳极 A_1 的电位对现在在调制极 M 和电极 A_3 之間形成的那个静电透镜的影响。由于这样，第一阳极电压的改变并不会影响光点的亮

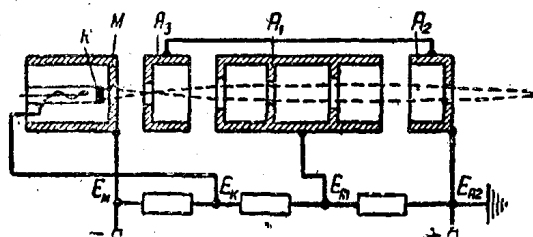


图 1.3 具有加速电极的电子枪的装置概略图

度。

人們常常把射綫管的玻璃管泡的內表面涂敷上一层导电层（金属或者是石墨的胶状溶液——即所謂石墨油），一直涂敷到差不多到荧光屏为止，并且在电方面上把这导电层和第二阳极相連接。因此在第二阳极之后的空間里，加速电场是不存在的。和第二阳极相連接的、因而也就是和地相連接的导电层，可把偏轉板屏蔽起来以免受外界場的影响，同时它也中和掉那些从荧光屏被打击出来的二次电子的影响。在沒有导电层的情况下，这些电子形成空間电荷而將射綫管的管壁充电，这样就对电子射綫的聚焦起着不良的影响。

为了控制电子射綫，在第二阳极之后（如图 1.1 所示）装置有两对所謂控制（偏轉）板，它們构成了两个相互垂直放置的、电容量极小的电容器。这两个电容器的軸綫都和射綫管的軸相合。人們常常把每个电容器的一片极板在射綫管内和第二阳极相連接，并把这个公共点接地。在某些类型的射綫管里，每一片极板都在管外面有一个独立的引綫。

如設每个电容器的两偏轉板都相互平行（图 1.4）并且其間的电位

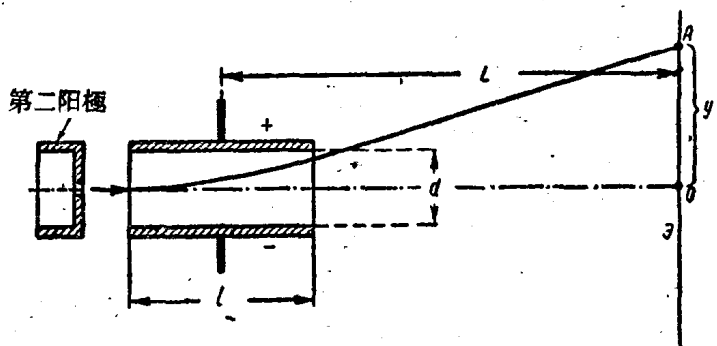


图 1.4 偏轉板电场对电子射綫的作用

差等于零的話，那么通过第二阳极的出口而具有速度 v 的射綫电子，將沿射綫管的軸綫运动并降落在荧光屏 β 上的点 O 。現設两偏轉板之間存在有某个恒定的电位差。由于这个結果，在偏轉板之間就形成了一

个电场,在第一次近似来说,这个电场可认为是均匀的,并且它的电力线是垂直于偏转板平面来分布的;在偏转板之外电场等于零(我们认为边缘效应等于零)。因为这个场与电子射线的电子运动方向相垂直,电子就朝着那个具有较高电位的偏转板的那一边偏转。这样,在两偏转板间的空间内,电子就沿抛物线运动。一当从这个空间飞出,电子射线就开始沿着抛物线在那一飞出点上的切线而运动,也就是说,它将在和射线管的轴线成某一个角度的方向上进行直线运动而降落在荧光屏上的点A。这个A点距离光点的原始位置有一段距离 y 。理论上的计算指出,光点在荧光屏上的偏转量可按下列公式来决定:

$$y = \frac{1}{2} \frac{U_y}{d} \cdot \frac{lL}{U_a}, \quad (1.1)$$

其中 U_y 是加在偏转板上的电压, l 是偏转板在射线管轴线方向上的长度, L 是偏转板中心到荧光屏的距离, d 是偏转板之间的距离, U_a 是第二阳极对于阴极的电压。 l , L 和 d 的尺寸应该用同样的单位来表示;偏转量 y 也要用这些单位来量度。

在实际上,由于电容器存在边缘效应,射线的偏转量就和按公式(1.1)所计得的稍有差异。但是,在实际上只有在射线离开射线管的偏转量大时,也就是说,在射线很接近(距离约为0.5毫米)偏转板而通过时,这个差异才被观察出来。

上面所列入的公式的物理意义是很明显的。事实上,偏转板的长度 l 愈长,电子射线所走过的、受到场的偏转作用的路程就愈长,并且光点在荧光屏上的偏转量就愈大。电容器极板间的距离 d 愈小,在其他条件相等的情况下,极板间的场强 $E = \frac{U_y}{d}$ 就愈强,因而电场对电子射线的偏转作用也就愈大。但是,根据下列原因,显著地把 l 增加和把 d 减小(为了得到射线的大的偏转量)是不可能的。第一,这样就会增大极板间的电容量,而这就限制了示波器的应用,特别是在高频率上的应用。第二,电子射线有落在极板上的危险。因此,为了获得大的射线

偏轉量，人們常常把偏轉板彼此張开一个角度来安置或者使它具有如图 1.1 上所示的形状。

从公式(1.1)可見，荧光屏放置得离偏轉板愈远，則在其他条件相等的情况下，偏轉量 y 也将愈大，这一点显然可从对图 1.4 的研究来得到証实。但是，把距离 L 作显著的增加是不可能的，因为这会使射綫的聚焦变得困难并使荧光屏上光点的清晰度变坏。此外，从运用的观点来说，过大的增加 L 会使仪器很不方便(射綫管的长度增加)。

从公式(1.1)也可看出，阳极电压 U_a 愈大，光点在荧光屏上的偏轉量就愈小。这一点可用随着电压 U_a 的增高，电子的速度也增高的理由来解释；此时偏轉电场对电子作用的持續時間减小，因而电子的运动軌道也就甚少变化。与此同时，电子速度的增大就提高了光点的亮度。这样一来，为了增进射綫管荧光屏上图形的亮度起見而把电压 U_a 提高，就会使图形的尺寸减小。反之，当减小电压 U_a 时会增大图形的尺寸，但是光点的亮度就会下降并且聚焦变坏。

在做好的射綫管里， l 、 L 和 d 的尺寸都是不变的，因此，如果該射綫管是工作于第二阳极的电压为固定值并等于 U_a 的情况下，那末公式(1.1)就会具有下列的形式：

$$y = h_y U_y, \quad (1.2)$$

其中 $h_y = \frac{lL}{2dU_a}$ 是一个常数。

比例系数 h_y 称为射綫管的静态电压灵敏度。如果在公式(1.2)內置 $U_y = 1$ 伏，那就可从該式求出 h_y 。在这种情况下，当第二阳极取一定的电压 U_a 时，射綫管的电压灵敏度就是加 1 伏直流电压在偏轉板时光点在荧光屏上所得到的偏轉量(通常用毫米来表示)。在手册中列举出的射綫管的灵敏度常常是在 $U_a = 1,000$ 伏的情况下求得的。

在有直流电压 U_x 加到第二对偏轉板的情况下，也会发生和上述相类似的情景。这时，正比于电压 U_x 的光点的偏轉，是在与第一对偏轉

板加有电压时所得到的偏轉相垂直的方向上发生的。比例系数 h_x 是第二对偏轉板的电压灵敏度, 它如同第一对偏轉板的灵敏度一样, 也是由几何尺寸和阳极电压 U_a 来决定的。但是, 由于 L 的数值不一样, 它和 h_y 是稍有差异的。最通行的射綫管的灵敏度位在 0.1—0.5 毫米/伏的范围内。

借助于上面所提到的偏轉板来控制电子射綫称为垂直控制或水平控制 (又称 Y 軸或 X 軸控制)。偏轉板本身常被分别称为 Y -偏轉板或 X -偏轉板。因为被研究的訊号电压通常是加到 Y 偏轉板上去的, 人們也就常常称它們为显象偏轉板 (或称显象軸)。加到 X 偏轉板上的通常是在時間上按已知規律变化的电压。因此, 人們常常把它們叫做時間偏轉板 (或称時間軸)。

正如在上面所指出的, 为要得到一个更亮的光点而增大第二阳极的电压 U_a 时, 会使射綫管的灵敏度降低。为了消除掉这一个矛盾, 在近代的射綫管里, 人們很常使射綫电子經過偏轉之后还再受一次額外的加速。为了这个目的, 人們把射綫管的管子內壁上差不多一直涂敷到荧光屏为止的导电层分为两部分, 其間以一个宽度为 6—12 毫米的間段来隔开 (見图 1.5)。环绕在偏轉板周圍的那一部分导电层在管内

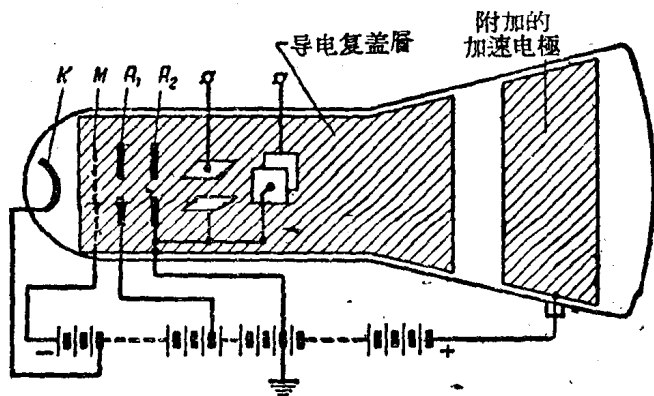


圖 1.5 具有后加速場电子射綫管裝置概略图

和第二阳极相连接。至于那一部分接近荧光屏的导电层可以称为附加的加速电极或称为加速器，它具有一个单独的固定在管泡的接头。在加速器和第二阳极之间加入一个正电压，这电压值第二阳极和阴极之间的电位差大致相等。在这种情况下，在两部分的导电层之间形成了一个电场，这电场使射线电子在受到偏转板的电场而发生偏转以后还受到一个额外的加速。

此时为使射线管的灵敏度不致于改变，在两部分导电层之间所构成的电场，它的等位面就必须处处和电子的飞越轨道相垂直。在实际上，这条件是不能实现的，由于这个结果，电子轨道就稍为受到些挤压，因而射线管的灵敏度比之在沒有后加速作用时的灵敏度大约下降20%。

除了上述利用两对偏转板使射线在相互垂直的两方向上偏转以控制电子射线的方法外，也可能控制电子射线在荧光屏上所描图象不同部分的亮度。这可借助于在调制极上输入一个交变电压，使它和一个負的直流电压相迭加来实现。例如說，如果将一个周期地重复变化的短促的正脉冲加到调制极上，那末，在每一个脉冲的作用时间内射线所描出的那一段曲线就将更光亮些。这一事实可被利用来从波形图中得到一些附加的知識。例如說，假设上面所提到过的正脉冲的重复频率为1兆赫。在这种情况下，就会在所研究的波形图上得到一些更为光亮的发亮线段，它们彼此相距一个相应于时间标度为1微秒的距离。这使人们得到了为所研究的波形图用的时间标度。人们有时把这种对电子射线的作用称为Z轴控制。

不应忘记，上面所提到的把波形图的个别部分加以亮度调制的方法会使电子射线有一些散焦。

射线管的荧光屏是在管底内壁上涂敷一层或好几层荧光材料来做成的。具有大量能量的射线电子，冲击荧光物质的表层并和其晶体格子中的原子相碰撞。在这些碰撞的过程中，电子所损失的能量中比較

大的一部分能量转换为热而白白地消耗掉了。而它的不大的一部分能量则破坏了荧光物质中某些电子和原子之间的连系。荧光物质中有一部分自由了的电子离开荧光屏而造成二次放射。而荧光物质中有比较大的一部分被骚动了的电子则回复到(经过一段不长的时间后)原来的能级上去。在原子或结晶回复到正常状态的过程中得到了能量剩余,这项能量就以辐射能的量子形式释放出来,这就使荧光屏局部发亮。射线电子冲击荧光屏时会激起荧光(在冲击时间时荧光屏的发光)也会激起磷光(在电子停止冲击荧光屏的某点后,荧光屏还在一段延长时间内的余辉)。

荧光屏的材料的选择是由所需要的亮度、光点颜色以及余辉时间来决定的。因为人眼总是对黄的和绿的颜色灵敏些,所以在为视力观察用的射线管里,采用天然硅酸锌和人工制炼的硅酸锌(人造硅酸锌),它们能发出绿色的光并具有小的余辉时间。在为摄影用的射线管里,荧光屏是用钨酸钡或钨酸镉来制造的,它们能发出对相底片更有效的兰紫色的光来。在用射线管来观察非周期性的、不重复变化的脉冲或者频率非常低的周期性过程的时候,荧光屏的余辉时间应该要长。这种荧光屏可用硫化锌或硫化锌镉来造成的。

近来出现了各种具有双层荧光层的射线管,这些荧光层具有不同的发光颜色以及不同的余辉时间。利用适当的滤光器,就可以只看到我们所希望的那一种辉光。

应该记住,在近代的射线管里,电子射线都是十分强烈的,因此在长时间使用射线管时,不应使光点长久地保持不动,也不应使光点长久地描绘同一条曲线,因为这样就会造成荧光屏局部损坏。

1.3. 示波器的放大器和电源设备

由于射线管的灵敏度低,用这种管子来研究微弱电压,则只有在把

它加以适当的放大后才有可能。因此，人們在示波器的电路里加入了垂直偏轉电压和水平偏轉电压的放大器以作为其不可缺少的部件。因为放大器的詳細研究是属于一門專門課程的任务，那末在这里我們只是列举一下有关示波器中所用放大器的一些最一般的知識。

在那些用来研究頻率不高于几万赫的周期性振蕩的、最簡單型式的示波器里，对放大器并没有提出任何特殊的要求。至于实验室用的、特别是用来研究脉冲过程的示波器，它們的放大器应该在輸入阻抗足够大和輸入电容足够小的条件下，具有尽可能寬闊的通頻帶。用来做这种放大器的是具有頻率和相位补偿装置的电阻耦合放大器，这些补偿装置能保証有寬闊的通頻帶。一般用途用的实验室型示波器的放大器，它的通頻帶約达 0.5—1 兆赫，而在高級的以及脉冲的示波器里，則达 10 兆赫或更高一些。

在这类放大器中，为了提高輸入阻抗和减小輸入电容，人們采用具有很低的輸出阻抗的阴极輸出器来做預放級。預放級的低欧姆的輸出，使得在一个寬頻段內均匀調節放大量的任务之解决大大地变得容易了。高質量示波器的放大器的輸出級是接成对称性电路（推挽电路或倒相电路）的，因为不然的話，波形图就可能发生畸变（請參閱后面）。在放大器的輸入端上，安置着一个有刻度的电压分压器（衰减器），它使我們能按照十进法原理来把輸入电压分压。

示波器的电源供給，差不多是无例外地用两个或三个整流器以取自頻率為 50 赫的交流电网。其中一个整流器保証着射綫管的电源供給，而第二个整流器或者第二个和第三个整流器則用来保証放大器、扫描級和輔助设备的电源。供电給射綫管的整流器的特点是电压高而电流不大（很少超过 0.5 毫安）。在这样小的負載电流的条件下，整流电压的平滑就易于用滤波器来实现，这滤波器通常由一节 RC 电路組成，而很少由二节 RC 电路組成。整流电压滤波的容易性使我們能采用簡單的半波整流綫路。近年来，人們开始采用固体整流器（硒整流器）来

代替真空管整流器。

供电給射綫管的电源, 包括为加热阴极所用的电源在內, 其全部功率耗損大約不超过 10 瓦特。

示波器的其余部件(放大器, 扫描振荡器, 輔助設備)的电源供給是取自第二个整流器或者第二个和第三个整流器的, 它們具有抗流圈-电容器的滤波器, 并常常备有附加的电压稳定器。按其实质來說, 这些整流器和通常用来供电給接收和放大設備的整流器没有任何的差別。

1.4. 交流电压在电子射綫管中的作用

A. 当交流电压作用于一对偏轉板上时射綫的行为

如果在一对偏轉板上加上一个頻率极低(例如 1—2 赫)的交流电压, 那末在余輝很短的射綫管的熒光屏上, 将看得見一个移动着的光点。光点离开于它的初始位置的偏轉瞬时值比例于加到偏轉板上的电压的瞬时值[參閱公式(1.2)]。

如果將加到偏轉板上的电压的頻率提高, 例如提高到 10—20 赫或更高, 那末人眼由于視觉惰性的关系已經不再能分辨出光点的各个不同位置了。这时, 在熒光屏上将看到一条水平的或垂直的直綫, 直綫的长度比例于加到偏轉板上的电压的巔值。

上述关于光点的瞬时偏轉比例于作用电压的瞬时值的論断是在下述情况下才是正确的, 即加到偏轉板上的交流电压的周期远远超过电子沿偏轉板飞越的时间。但是, 如果加入的交流电压的周期縮短, 并接近于电子飞越偏轉板的时间的話, 那末在电子的飞越时间間隔內, 加到偏轉板上的电压就不能被認為是恒定的。在这样的情况下, 射綫管的灵敏度并不等于在恒定电压或低频电压下所求出的静态灵敏度 h , 而可从下列表示式中求出来:

$$h' = h \frac{\sin\left(\frac{\pi t_{np}}{T}\right)}{\pi \frac{t_{np}}{T}}, \quad (1.3)$$

这里, h' 是频率为 $f = \frac{1}{T}$ 时的灵敏度 (所谓实际灵敏度), h 是静态灵敏度, T 是所加电压的周期, t_{np} 是电子飞越偏转板的时间, 这时间用秒做单位, 并且等于 $t_{np} = \frac{1.68 \times 10^{-8} l}{\sqrt{U_a}}$ (l 是偏转板的长度, 以厘米为单位, U_a 是第二阳极上的电压, 单位为伏)。

由关系式(1.3)可见: 当 $\frac{t_{np}}{T} = \frac{1}{4}$ 时, 灵敏度 h' 为灵敏度 h 的 90%。因此, 如果 $T > (10-15)t_{np}$ 时, 可以认为 h' 实际上等于 h 。这意味着, 偏转板长度约为 2—3 厘米的普通电子射线管 (当阳极电压约为 2—3 千伏时), 直到频率高达约 100 兆赫时, 其灵敏度实际上与频率无关。从关系式(1.3)也可以得到这样一个结论: 如果 $\frac{t_{np}}{T} = 1, 2, 3, \dots$, 那末灵敏度 h' 就变成等于零。

这样一来, 为了使光点偏转的瞬时值和偏转电压的瞬时值之间能够在尽可能宽的频段内维持正比关系, 必须使电子飞越偏转板的时间缩短到最低的限度。因此, 能利用电子射线管来研究的电振荡, 其极限频率 (或极限周期) 取决于偏转板的长度和电子的速度, 亦即取决于第二阳极上的电压。运用于极高频 (分米波和厘米波) 的电子射线管应有很短的偏转板, 并应工作于很高的阳极电压。因此, 这样的电子射线管的灵敏度将很低。

电子射线管运用于极高频上的可能性, 在一定程度上受到偏转板的电容以及引线的电容和电感所限制。此外, 这个电容可能成为被研究的电压电源的一个大得不能容许的负载; 由于上述电容和电感所引起的谐振现象, 可能使极高频的研究产生额外的困难。为了减少偏转板引线的电容和电感, 引线往往不是通过联接于管颈的管座引出来的,

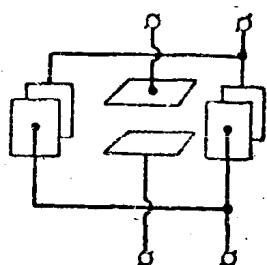


图 1.6 分裂的偏转板的
联接电路图

而是通过直接靠近偏转板的管壁玻璃引出来的。与偏转板的输入电容的不良影响作斗争的好办法是在于，不将被研究的电压直接加到偏转板上，而是通过一个阴极输出器来加到偏转板上。

除此之外，在高频时还应估计到加到水平垂直偏转板上的交流电压对射线的作用不是同时发生的，而是彼此之间有一个相位移。这一点可以这样来解释：两对偏转板是安放在管内的不同位置上的。相位移决定于电子通过两对偏转板的中心之间的距离 l_1 所需的时间 $t_1 = \frac{1.68 \times 10^{-8} l_1}{\sqrt{U_a}}$ 。

如果将其中一对偏转板割裂开来并将它们与第二对偏转板对称地安放（图 1.6），那么这些相位畸变是可以消除的。

5. 当交流电压作用于两对偏转板上时射线的行为

假定将频率相同而相位和振幅都不相同的两个正弦交流电压分别加到两对偏转板上：

$$u_x = U_{mx} \sin \omega t,$$

$$u_y = U_{my} \sin (\omega t + \varphi).$$

光点沿水平方向和垂直方向的瞬时偏转将分别等于：

$$x = h_x U_{mx} \sin \omega t = A \sin \omega t \quad (1.4)$$

和

$$y = h_y U_{my} \sin (\omega t + \varphi) = B \sin (\omega t + \varphi), \quad (1.5)$$

这里， h_x 和 h_y 是灵敏度，而 $A = h_x U_{mx}$ 和 $B = h_y U_{my}$ 分别是在水平方向和垂直方向上光点偏转的最大值。

弄清楚 x 和 y 之间的相互关系以后，也就是说从上述方程式(1.4)

和(1.5)中将时间 t 消去以后, 就可以确定在荧光屏上所得到的图形。

由方程式(1.4)得

$$\sin \omega t = \frac{x}{A}$$

和

$$\cos \omega t = \frac{\sqrt{A^2 - x^2}}{A}.$$

将最后两个式子代入方程式(1.5)中, 得

$$y = \frac{B}{A} (x \cos \varphi + \sin \varphi \sqrt{A^2 - x^2}). \quad (1.6)$$

在一般情况下, 这个表示式是一个椭圆的方程式。如果 $\varphi = 0^\circ$ 或 180° , 则 $y = \pm \frac{B}{A} x$, 也就是说, 在荧光屏上得到一条直线, 它和 X 轴相

交一个角度 $\theta = \arctg\left(\pm \frac{B}{A}\right)$ 。当 $\varphi = 90^\circ$ 或 270° 时, 得到 $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$, 也就是半轴为 A 和 B 的椭圆的方程。如果 $A = B$, 且 $\varphi = 90^\circ$, 则荧光屏上的曲线是一个圆。上列的论述, 用李沙育图形表示于图 1.7 中。

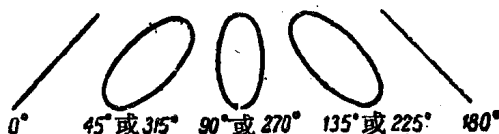


图 1.7 在两个偏转电压的频率相等时所得到的李沙育图形

如果将频率、振幅和相位都不同的两个交流电压分别加到两对偏转板上, 那么在荧光屏上就产生更复杂的李沙育图形。这些图形的形状取决于加到偏转板上的两个电压的波形, 也取决于它们的频率、相位和振幅之间的关系。如果频率的比值是两个整数的比: $\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{2}{1}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3}, \dots, \frac{3}{1}, \frac{3}{2}, \frac{3}{3}, \dots$, 那么荧光屏上的图形将是固定不动的。

作为一个例子, 让我们来研究将两个频率不同的正弦电压加到两对偏转板上时的情况。假定垂直偏转电压的频率 f_y 比水平偏转电压的