

电子示波器的基本知识

姬成周

(北京师范大学物理系)

电子示波器是用以显示波形并能进行定量测量的电子设备。电学量和可以变换为电压或电流形式的其他量(压力、温度、震动、声、光、热等),都能用示波器进行观察和测量。在荧光屏上还能描绘由两个变量决定的函数的曲线。这就使电子示波器在工业生产、科学技术以及医疗技术等方面获得广泛应用。以电子示波器为基本测量工具的示波测量方法也迅速地发展起来。

电子示波器是利用高度聚焦的高速电子流在荧光屏上描绘图形。和其他测量仪器相比,它具有直观简便、反应快、灵敏度高、对被测试系统影响很小等优点。

在物理教学中,应用电子示波器,把物理现象的过程和细节直接显示出来,能够给人以深刻的直观印象,这对于理解所学的对象很有帮助。随着教育革命的深入开展,中学物理教学与工农业生产实践的联系日益紧密,机械化、自动化知识在教学内容方面所占比例日益增大。因此,把电子示波器作为基本演示仪器进行直观教学的要求也更为迫切了。

《简易电子示波器》一文(见《物理》1975年四卷三期)介绍了一台简易电子示波器的结构和制作调整经验。这个示波器电路简炼,容易制作,具有一般电子示波器的功能。对于中学物理教学和课外活动的开展是十分有用的。为了使同志们能把简易示波器做得更好些,还有必要介绍一些有关电子示波器的基本知识。

电子示波器的基本组成部分包括:示波管、扫描发生器、放大器和电源。

一、示波管

示波管(电子束管)是电子示波器的核心部件。它是具有多个电极的电真空器件。电子示波器中通常采用“电场控制聚焦和偏转”的示波管。这类管子重量轻,消耗电功率小,具有较好的频率特性。它的简化结构如图1所示。

在抽成真空的管壳内,装有电子枪和两对偏转板,

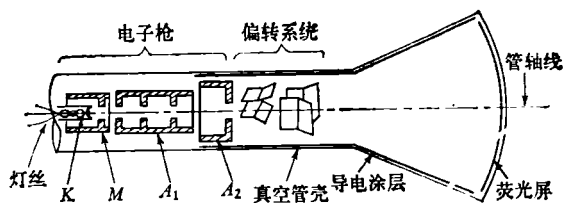


图1 示波管结构

管底屏上涂有发光物质。电子枪产生高速的窄细电子束。两对偏转板控制电子束,使它按照偏转板间电场的变化规律,改变运动方向,轰击在荧光屏的相应点上,从而显示出图形。

1. 电子流的发射和聚焦

电子枪中,圆筒状电极沿管子轴线顺序排列,有阴极 K ,控制极 M ,第一阳极 A_1 和第二阳极 A_2 。控制极上加不大的相对于阴极为负电压(几十伏以内),阳极 A_1 加相对于阴极为正的电压(几百伏),阳极 A_2 的电压比 A_1 更高(一千伏以上)。

阴极 K 是间热式氧化物阴极,作为电子发射源。阴极的典型结构如图2所示。

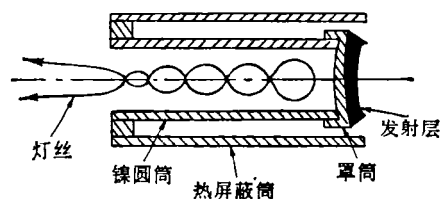


图2 阴极的典型结构

控制极筒壁和阴极间的电场,对电子流有约束作用,迫使电子挤向轴线,如图3所示。改变控制极上的负电压的大小,就能控制飞出控制极圆孔的电子流的密度,进而达到调节荧光屏上光点亮度的目的。

阳极 A_1 和 A_2 的强电场是使电子流获得所必须的速度。 A_1 、 M 、 K 之间和 A_2 、 A_1 之间的电场分布如图4。因为电子力求沿着垂直于等位面的方向运动。

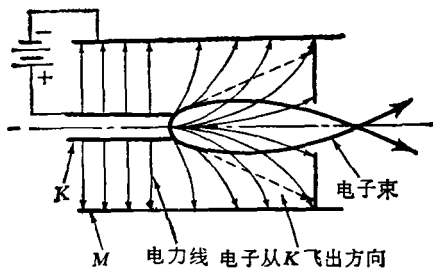


图3 控制极管壁和阴极间的电场对电子流的约束作用

所以在等位面凸向阴极的一部分电场里,电子偏向轴线.在等位面向向阴极的一部分电场里,电子偏离开轴线.借助于各电极的适当结构和极间电位差的选择,使电场的会聚作用强于发散作用,电子流便在轴线方向会聚成很细的一束.图4是电子枪聚焦作用示意图.

由于 A_1 比 A_2 处在低电位,通常都是固定 A_2 的电位,用改变 A_1 电位的办法,调节电场分布,以便得到电子束的良好聚焦.所以, A_1 又称为“聚焦阳极”, A_2 则称为“加速阳极”.

这种“三极式”电子枪,由于聚焦阳极电位或控制极电位的改变,都将引起阴极和聚焦阳极间电场分布形状和电场强度的变化,从而使亮度和聚焦的调节相互影响.另外,电子束的最大电流也小,所以这种电子枪的工作质量较差.

示波管常用的电子枪结构,是在控制极和第一阳极之间增加了一个电极,该电极与第二阳极相连接.它能使发射电子流的密度有所增加,又是控制极和第一阳极间良好的电屏蔽.从而避免了三极式电子枪中亮度和聚焦相互影响的缺点.在这个基础上,再把第一阳极改成不带隔板的圆筒或中心开孔较大的圆盘,使第一阳极只起聚焦作用而很少截获电子.这种结构也叫做“第一阳极另电流”式电子枪.

管壳内壁上的导电涂层(金属或石墨)和阳极 A_2 连在一起通常都是接地电位的.使阳极 A_1 和荧光屏间形成零加速电场.导电层吸收荧光屏的二次发射电子,构成电流的通路.筒状导电涂层又是偏转系统良好的屏蔽体.

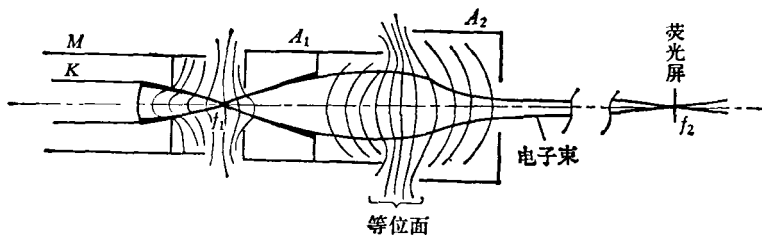


图4 电子枪聚焦作用示意图

2. 电子束的偏转

静电式示波管的偏转系统,有两对平行板,构成两个电容量极小的电容器.它们的位置相互垂直,轴线都和管子轴线重合(见图1).用以控制电子束在垂直方向和水平方向的偏转.

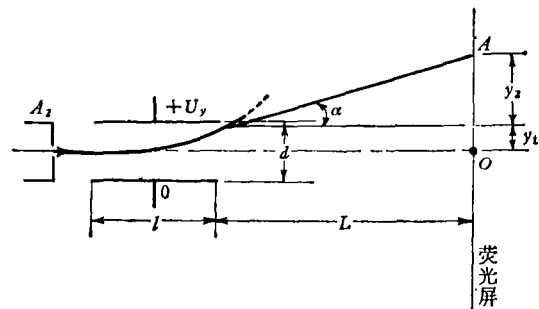


图5 电子轰击荧光屏示意图

偏转板不加电压时,通过阳极 A_1 出口,具有一定速度的电子,沿着示波管轴线方向运动,轰击荧光屏的中心 O 点(图5).若偏转板上加有某一恒定电位差 U_y ,偏转板间形成均匀电场(忽略了边缘效应),电力线垂直平板分布.因为电子射入方向与电场方向垂直,于是电子受该电场力的作用,向具有高电位的偏转板那边偏转.结果在两偏转板之间的空间内,电子沿抛物线运动,一旦从这个空间飞出,电子就开始沿着抛物线上飞出点的切线方向运动,即在和轴线成某一角度的方向上进行直线运动,轰击荧光屏上的 A 点(图5).光点 A 距离屏中心 O 点的偏移量为: $y = y_1 + y_2 = h$, U_y .显然,用光点偏移量 y 的大小,可以表示偏转板上电位差的大小.这就是电子示波器能测定电压的基本原理.上式中

$$h = \frac{y}{U_y} = \frac{1}{2} \frac{l \left(L + \frac{1}{2} l \right)}{d U_a}$$

叫做示波管的静态灵敏度.它是在阳极 A_1 对阴极的电压 U_a 为一定值下(通常取 $U_a = 1000$ 伏)测定的,普通示波管的灵敏度为 $0.1-1$ 毫米/伏.若增大电压 U_a ,则飞出 A_1 的电子的速度高,穿越偏转板的时间短,电子受电场力作用的时间短,则灵敏度低,光点偏移量小,但光点明亮.若缩短平板间的距离 d ,能够提高灵敏度,增大偏移量.但势必有一部分电子在偏转过程中,会落到偏转板上,减小了电子束密度,降低亮度.

为了获得较高的偏转灵敏度和较线性的偏转,又不致损失电

子密度,通常偏转板向荧光屏的一面都做成喇叭形(见图1)。

在两组偏转板的电场同时作用下,电子束向该二电场力的合力方向偏转,因此控制两对偏转板的电压,能使电子束到达屏幕上的任何一点。

为了保证垂直方向有较高的偏转灵敏度,总是把垂直偏转板放在靠近第二阳极一边,水平偏转板放在靠近荧光屏一边。

在简单示波器中,每对偏转板各有一块和第二阳极相连接,另一块板上有或正或负的电压。因此,平板间轴线上的平均电位不为零。电子束在偏转的同时,受到第二阳极和偏转板间额外电场的作用,偏转灵敏度和聚焦都会改变,对波形显示不利。若采用偏转电压对称输入的方式,能够避免这种缺点。即一块偏转板接正电压(+ U_y),另一块偏转板接等量负电压(- U_y),则平板间轴线上的平均电位为零。只要做到正电压和负电压同时改变,变化数值也相同,就既能移动光点位置,又能始终保持轴线上的平均电位为零,从而消除了额外电场。

3. 荧光屏

涂在示波管屏上的发光物质叫做荧光剂。由于各种荧光剂的化学成份和激活剂互不相同,它们的发光效率、发光颜色、发光持续时间(余辉时间)也各不相同,可供选用。例如,一般观察用的是中余辉、绿色光的“锰激活硫酸锌屏”。进行照象用短余辉,蓝色光的“银激活硫化锌屏”。研究慢变化信号就要用长余辉,蓝黄色光的“铜激活硫化锌钙屏”。

对于示波管的选择,除了荧光屏的尺寸外,主要看电子束在荧光屏上产生的光点的大小、亮度、发光颜色、余辉时间和灵敏度等。例如灵敏度高而聚焦劣的示波管,虽然偏转量大,但光点也大,分辨不出波形的细节。因此,希望示波管的光点能尽量小。屏尺寸与光点大小的比值愈大,愈能显示波形的细致结构。近代精密示波管已能使光点的大小在0.001吋(0.025毫米)以下。

4. 示波管的供电电路

必须适当选择各电极的电压,保证示波管工作在最佳状态。典型的供电电路如图6所示。电位器 P_1 用作亮度调节。 R_1 是限制阴极和控制极间电流的保护电阻。阴极接在 a 点,电位固定,调节亮度时,对聚焦的影响较小。使阴极和地之间的电压,大部分降在电阻 R_2 和 R_3 上。这样,调节电位器 P_2 ,容易获得良好的聚焦。为了避免外界杂散电场干扰示波管,有时在有关电极间接上电容器[图6中虚线]。电容值不宜过大,否则亮度和聚焦的调节会变得迟钝。

因为示波管荧光屏对阴极有很高的正电位,若还

采用接地端为负的供电方式,靠近荧光屏附近对地有很高的电位,这不利于人身安全,对电子束也容易引起干扰。因此,示波管都采用接地端为正的负高压供电方式。

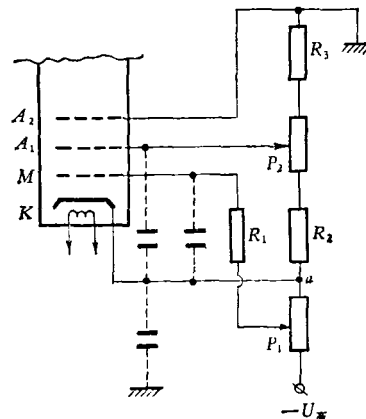


图6 典型的供电电路

移动光点位置的供电方式很多。例如如图7所示电路,直流电压是对称接入的。电位器 P_{3a} 和 P_{3b} 以及 P_{4a} 和 P_{4b} 是并联接在+ U_y 与- U_y 之间,它们的动臂同轴联动,电位器 P_1 的动臂接地。不难看出,当 P_1 动臂在中间位置时,无论 P_3 , P_4 动臂在什么位置,都能保证偏转板轴线上的平均电位为零(即与第二阳极同电位)。消除了偏转板与第二阳极间的额外电场。从原则上讲,在这种情况下,光点的偏转不会影响它的聚焦。但实际上往往发现,偏转板轴线上的平均电位只有与第二阳极的电位有一定差异时,偏转对聚焦的影响才能很小。这是因为示波管装配上的缺点,使管内电场不能很对称,而适当调正偏转板的平均电位能够补偿电场不对称性的缘故。电位器 P_1 就是为此而设置的,叫做“散焦矫正电位器”。图中电阻 R_1 — R_4 用以隔离位置调节电路和偏转信号源,其阻值均在几兆欧以上。

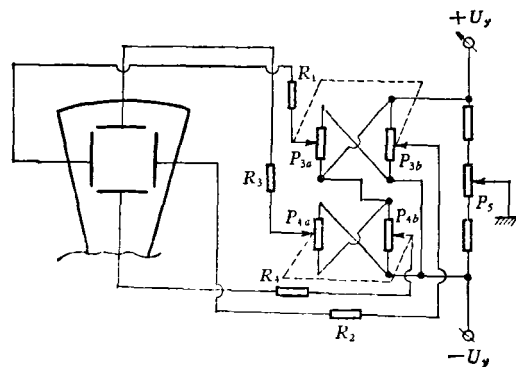


图7 移动光点位置的供电方式

要使各种调节平稳, 电位器应当采用线性变化的方式。

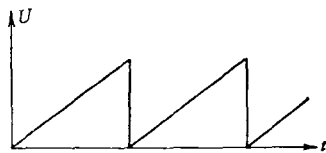
二、扫描发生器

扫描发生器是电子示波器的关键组成部分, 它的功能多少和质量优劣, 在很大程度上决定了整个示波器的用途和性能。

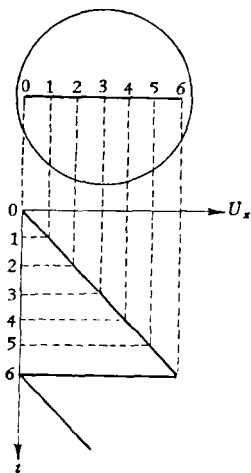
扫描发生器是一种专用振荡器, 它给示波管提供合适的扫描电压, 保证荧光屏上图形的稳定、逼真。

1. 电子束的扫描

示波管偏转板上没有任何电压时, 电子束在荧光屏中心打出一个亮点。偏转板上加上直流电压, 能移动光点在屏上的位置, 但在屏上仍然只显示出一个亮点。要想在荧光屏上描绘波形, 必须把信号随时间的变化展开。若在水平偏转板上加随时间成正比例变化的周期电压 [图 8(a)], 光点就会匀速地向一边偏移, 在屏上显示出一条水平亮线 [图 8(b)]。亮线的长度可以代表时间, 叫做“时间基线”(简称“时基”)。这个过程叫做电子束的扫描。因为时间基线是直线, 所以叫做直线性扫描。用以产生扫描电压的装置就是扫描发生器。



(a)



(b)

图 8 电子束扫描过程

在水平偏转板上有扫描电压的条件下, 如果给垂直偏转板上加上被观测的信号(输入信号), 该信号随时

间的变化情况, 就能展开在荧光屏上, 显出波形 (如图 9 所示)。扫描电压的缓慢上升段, 形成扫描的正程 $o-a-b-c-d$, 快速下降段, 形成扫描的回程 $d-b-o$ 。

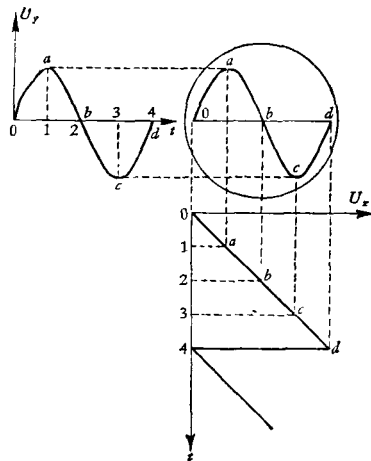


图 9 电子束扫描波形

2. 扫描电压的产生

如图 10(a), (c) 所示, 用开关的通断控制电容器的充电和放电过程, 获得了锯齿形电压 [图 10(b), (d)]。图中, AB 段是扫描期, BC 段是回扫期, CD 段是静止期。若用它作为扫描电压时, 输入信号的示波图形产生了畸变 [图 11]。

为了使示波图形能逼真地反映出输入信号随时间的变化, 希望锯齿形电压尽量接近图 8(a) 的理想形状, 即缓慢变化的部分要直(较好的直线性), 快速变化的部分要陡(时间 τ 尽量短), 输出幅度 U_M 要大, 频率要足够稳定。而且幅度和频率应在一定范围内调节。

电子示波器中, 利用电子管或晶体管电路代替机械开关, 控制电容器的充电和放电, 构成锯齿形电压发生器。目前国内较多接触的仍是电子管电路。

图 12 是简单的锯齿波发生器电路。闸流管(管壳内充有惰性气体, 是一种电子离子器件) 用作自动开关。电阻 R_1 , R_K 构成分压器供给闸流管栅负压。接通电源后, U_{bb} 通过电阻 R 和 R_K 给电容器 C 充电。当 C 两端电压达到闸流管电离电压(导通电压)时, 闸流管导通, 电容 C 立即经过 R_a 和闸流管放电。 C 上电压迅速下降, 闸流管截止。电源又对 C 充电, 开始下一个周期。因此, 这类自激式发生器, 不存在扫描的静止期。充电快慢由 $C \cdot (R + R_K)$ 的值决定。放电快慢由 $C \cdot R_a$ 决定。改变 C 的数值, 可以调节锯齿电压的频率范围, 改变 R 的数值, 可以连续调节扫描频率。

这种电路能有较大的输出幅度和较短的恢复时间。但由于闸流管内气体离子的复合需要时间, 不能

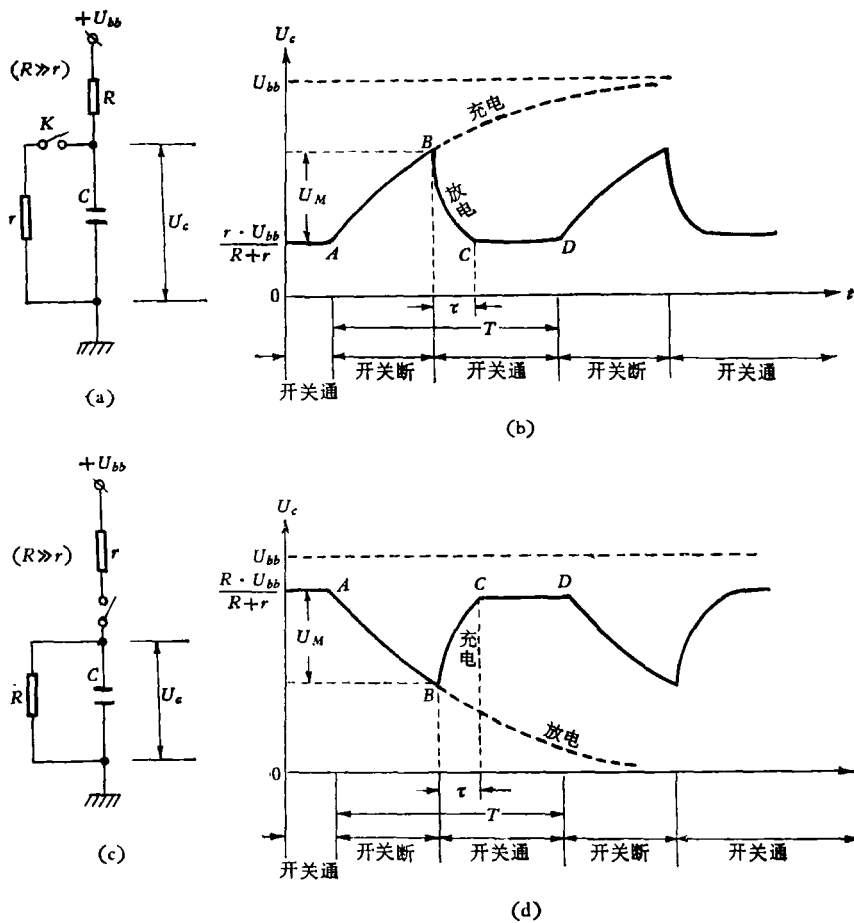


图 10 扫描电压的产生

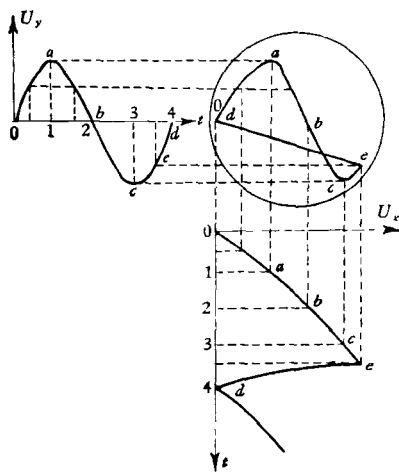


图 11 示波图形的畸变

产生较高频率的锯齿电压(最高到 100 千赫), 而且线性度差。

简单发生器中, 造成锯齿电压线性度差的原因, 很

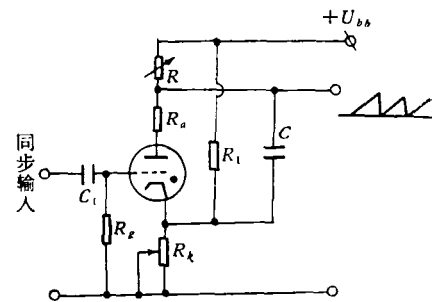


图 12 简单的锯齿波发生器电路

明显是因为电容器充电(或放电)过程中, 电流随时变化的缘故。因而任意一种维持充电(或放电)电流恒定的措施, 都有助于锯齿电压线性度的改善。例如图 13 电路, 随着电容器 C 迅速充电, 闸流管 J_1 截止。由于五极管 J_2 用在饱和区域, 屏流很少受屏压变化的影响, 基本维持恒定数值。因此, 能保证电容器 C 以恒定电流放电, 获得线性较好的锯齿电压。

图 14(a) 是电子管锯齿波发生器电路。它利用不

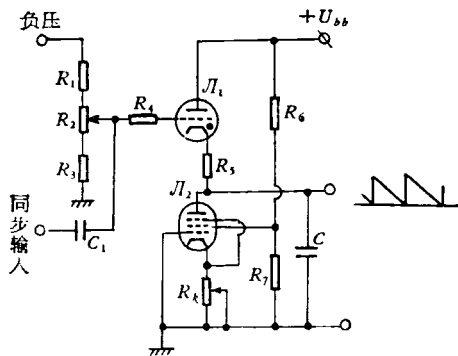


图 13 改善锯齿电压线性度的电路

对称阴极耦合多谐振荡器作为自动开关,控制电容器 C 的充电 (J_1 导通, J_2 截止时) 和放电 (J_1 截止, J_2 导通时), 获得锯齿电压 [图 14(b)]. 改变 $C_2 \cdot r_2$ 和 $C \cdot R_1$ 的数值, 可以调节锯齿电压的频率. 为了得到好的线性, 电阻 R_2 选较大阻值, 并采用高电压的电源, 使电容 C 的充电, 限制在指数充电曲线接近直线的部分.

与闸流管电路相比, 电子管电路产生的锯齿波, 频率可以高得多(几兆赫), 也稳定得多.

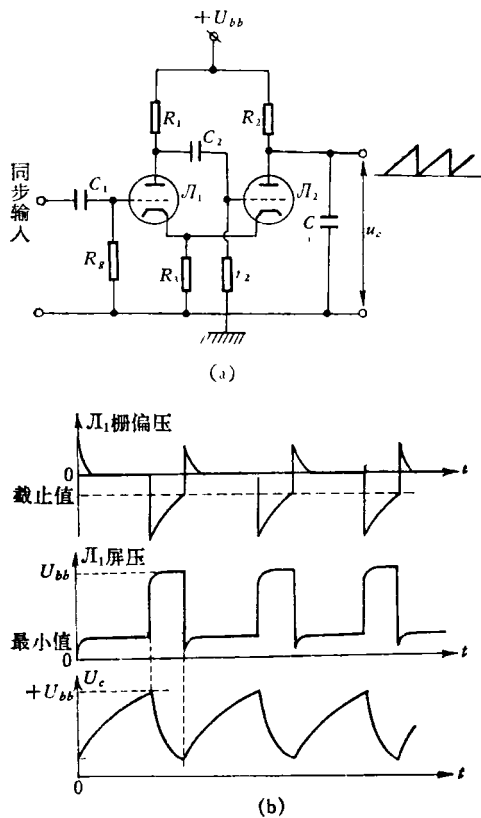


图 14 电子管锯齿波发生器电路及波形

3. 扫描的同步

由图 9 可以看出扫描电压和输入信号的周期和初始位相完全相同, 屏幕上显示输入信号一个周期的波形. 保持这种关系不变, 则每周期的扫描图形重叠, 屏上图形稳定. 不难看出, 扫描电压和输入信号的周期成整数比, 位相关系保持不变时, 荧光屏上仍能获得稳定图形. 由于各种原因, 扫描电压的频率会有变化, 输入信号的频率和位相也可能发生变化. 这样, 上述条件就不能很好满足, 屏上图形就要闪动, 不便观测. 为了获得稳定图形所采取的措施, 即保持扫描电压和输入信号间有固定的频率和相位关系的方法叫做同步. 就是把控制信号送入扫描发生器, 让扫描在输入信号每周期的固定时刻开始. 扫描电压和输入信号同步后, 就叫做“联锁”.

实现直线扫描的同步, 有两种方法: (1) 控制扫描电压的幅度, 从而改变扫描的频率和位相; (2) 直接控制扫描的频率. 一般都采用第一种方法.

作为同步控制信号的, 可以是输入信号的一小部分 (内同步), 也可以用另外的信号 (外同步, 电源同步).

以图 12 的电路为例, 可以把输入信号的一小部分送入闸流管栅极, 改变闸流管的电离电压, 达到控制锯齿电压频率和相位的目的. 闸流管的电离电压 $U_{电}$ 与其栅负压 $U_{栅}$ 之间有线性关系 [图 15(a)]. 栅极电位高, 电离电压低; 栅极电位低, 电离电压高, 二者变化位相相反. 闸流管电离电压与锯齿电压幅度(频率)的关

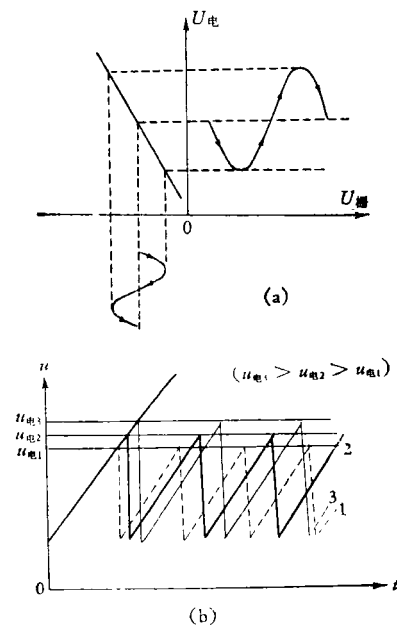


图 15 闸流管电离电压与锯齿电压幅度(频率)的关系

系如图 15(b) 所示: 电离电压低, 幅度小, 频率高(波形 1); 电离电压高, 幅度大, 频率低(波形 3)。引入同步信号前后, 闸流管栅负压和电离电压的变化情况如图 16(a), (b) 所示。没有同步信号时, 闸流管依次在电离电压线的 1, 2, 3, 4, 5 各点电离导通, 形成虚线所示的锯齿电压 [见图 16(b)]。有了同步信号, 电离电压随着变化, 闸流管将在 6, 7, 8, 9, 10 各点电离导通(同步信号频率稍高于扫描频率时), 形成振幅较小的锯齿波(图中实线所示)。显然, 闸流管是在正弦形电离电压每周期的相应点上电离导通。因此, 锯齿电压与输入信号间有了固定的频率相位关系, 实现了同步。

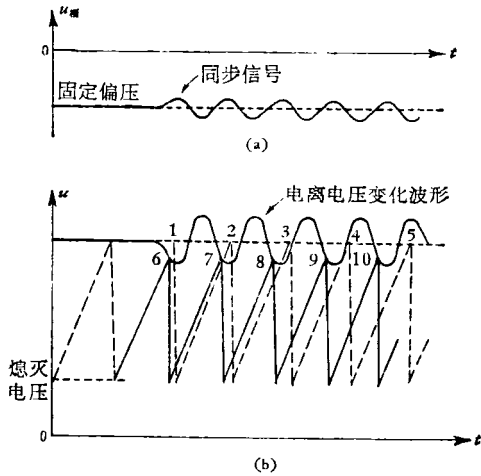


图 16 闸流管栅负压和电离电压的变化

应当指出, 仅在扫描频率与输入信号频率相近时, 同步才能有效地实现。同步电压不能过大, 否则, 闸流管连续电离导通, 会得出不均匀的锯齿波幅度和周期, 非但不能稳定图形, 还会使图形失真。故正确地运用同步的方法是, 先调节扫描频率, 使屏上有接近稳定的图形后, 由小而大加上同步信号电压, 使图形完全稳定为止。

在图 14(a) 电路中, 同步信号由电子管 J_1 的栅极引入。同步电压改变了 J_1 栅负压的波形(图 17), 使栅负压提前到达截止值(由 A 到 B), 电子管 J_1 提前导

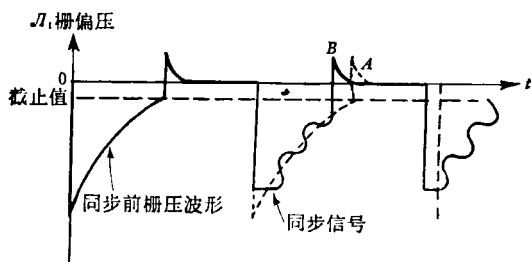


图 17 同步电压改变 J_1 栅负压的波形

电。即改变了电子管周期性导电的起始点(也就改变了扫描的起始点), 最终使扫描与输入信号联锁。若改用短促的脉冲信号作为这类发生器的同步信号, 效果会更好。

4. 触发扫描和单次扫描

观测持续时间短暂的信号或脉冲波形时, 用上述周期性的连续扫描就不适宜。这可用图 18 说明。由于信号持续时间 τ 远小于它的重复周期 T , 若同步扫描电压的周期 $T_1 = T$ [图 18(a)], 幅度 U_M 能使时基占满屏幕, 这就无法看清信号波形。若同步扫描电压的周期 $T_2 = \tau$ [图 18(b)], 则在时间 T 内, 扫描完成了多次而信号只有一个, 扫描线很亮, 图形却很暗, 而且同步很困难(因为 T/τ 不一定是整数)。为了观测这种信号, 扫描电压必须是图 18(c) 的形式。其周期稍大于 τ , 幅度能使时基占满荧光屏, 来一次信号, 只完成一次扫描。这种由输入信号或外来信号控制的扫描叫做触发扫描(驱动扫描)。由于锯齿电压的起点总比触发控制信号落后一些, 这样, 输入信号的起始部分, 就不可能全部显示出来。改善的办法是, 用延迟电路使输入信号比扫描电压晚一点到达偏转板。

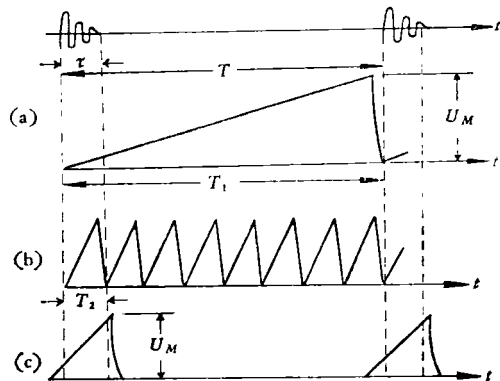


图 18 触发扫描和连续扫描的比较

简单的触发扫描发生器如图 19(a) 所示。它利用幅度足够大的矩形负脉冲作为触发扫描控制信号。当有输入信号时, 由它控制、产生的触发脉冲, 使电子管截止, 电容器 C 经电阻 R_1 充电, 进行扫描。触发脉冲结束, 电子管导通, 电容 C 迅速放电, 回到准备状态。电阻 R_2 是为了使电容 C 尽快放电而加的。

实用的触发扫描电路要复杂得多。为了满足既能观测脉冲波形, 又能观测周期性连续振荡波形的要求, 扫描发生器必须既能触发扫描又能连续扫描。例如图 19(b) 电路, 电容器 C 经过 J_1 充电, 经过 J_2 恒流放电。当开关在“连续”位置时, 电子管 J_1 和 J_2 实质上是不对称多谐振荡器, 作为自动开关, 控制电容器 C 的充电和放电, 获得连续扫描的锯齿波。同步信号经电

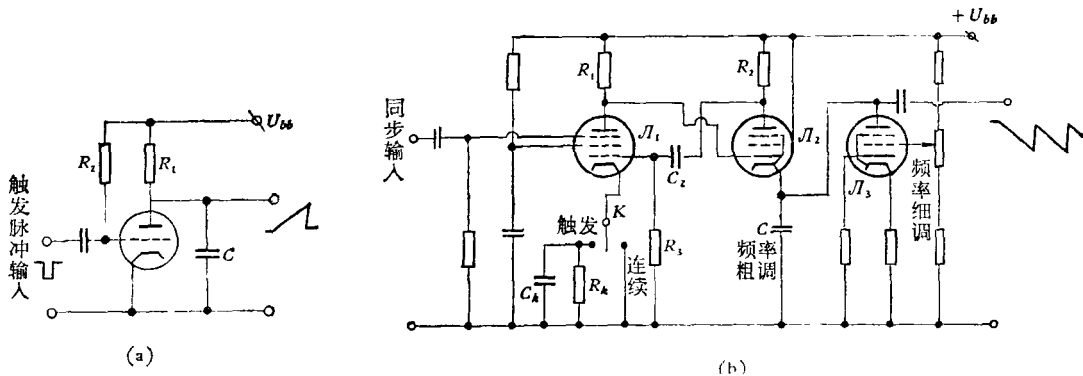


图 19 触发扫描发生器电路

容送到 J_1 抑制栅极。若开关在“触发”位置, J_1 阴极接入 R_k 和 C_k , 因而截止。电容 C 经 J_1 迅速充电, 仅当触发脉冲使 J_1 截止时, 电容 C 恒流放电完成一次扫描, 触发脉冲结束, 电路回到准备状态。因此, 触发扫描无须专门的同步信号。

单次扫描用以观测不重复出现的一次性信号或不规则的非周期性信号。在信号出现时开始扫描, 完成一次扫描后不再回扫, 需要人工控制使其进入下次扫描的准备状态。单次扫描实质上也是触发扫描, 不过在触发控制电路里, 需要附加人工控制装置而已。

观测持续时间极短(毫秒数量级)的信号, 须采用高速扫描电路, 或采样显示技术。

5. 回扫消隐

锯齿形电压的快速变化部分, 在荧光屏上形成扫描的逆程(回扫)。尽管时间短, 扫描线暗, 仍然会使待观测波形发生混乱, 有必要把这种回扫线完全消隐掉。

在扫描电路里, 如果有正好和回扫时间符合的信号产生[例如如图 14(a) 中, 电容器 C 开始放电时, J_1 屏极上产生的矩形正脉冲], 就可以把它经过放大和修整后(或直接), 加到示波管控制极或阴极(由信号极性决定), 在扫描回程使亮度截止。如果没有这种可供利用的信号, 就必须由专门的电路产生消隐信号。

三、放大器

在荧光屏上获得适当大小的图形, 大约需要几十伏至几百伏的偏转电压(决定于示波管的灵敏度和屏的尺寸)。想要观测的波形可以从微伏数量级的生理电压直到电力网上几千伏的瞬变信号。因此, 在示波管和信号源之间有必要接入放大器和衰减器。输入信号可以由缓慢变化的电压(或电流)直到超高频电磁波; 可以是简单的正弦波, 也可以是波形特殊的脉冲。因此, 保证不失真地传送各种输入信号, 放大器除了有

足够的放大倍数外, 还必须要有较宽的频率范围, 较小的畸变(包括频率畸变、相位畸变、非线性畸变)和尽可能低的噪音干扰。为了减少对输入信号源的影响, 放大器的输入阻抗必须足够大。

1. 级间耦合与频率范围的扩展

静电式示波管偏转系统消耗功率很小, 因此, 一般采用多级电压放大器, 而不必用功率放大器。放大级之间只选用电阻电容耦合或直接耦合方式。其优点是在相当宽的频率范围内, 能不失真地传送信号。

图 20 是用五极管做成的阻容耦合放大级。经 J_1 放大后的信号, 依靠电容 c_g 和电阻 R_g , 耦合传送到 J_2 的栅极。由于耦合电容 c_g 在低频率时呈现很大阻抗, 而潜在电容 c_o (包括 J_1 的输出电容、 J_2 的输入电容以及布线电容等)对高频率信号有较强的分路作用, 使放大级的放大倍数, 在高频和低频区域, 有明显下降, 仅在一个较小的频率范围内, 放大倍数均匀。这就限制了放大级的通频带。为了获得较宽的通频带, 又不致降低放大倍数, 必须采用频率补偿措施。

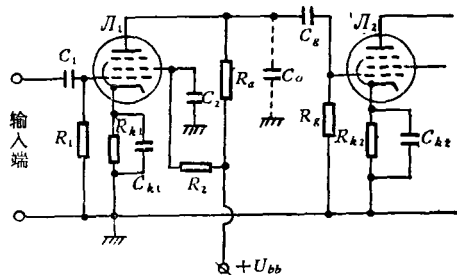


图 20 用五极管做成的阻容耦合放大级

在低频区域, 并不靠增大 c_g 来提高放大倍数。因为这样做会更降低高频区的放大倍数, 还会引起较大的相移。低频补偿可用图 21(a) 的电路, 因为引入了元件 R'_o 和 c'_g , 使 J_1 的低频有效负载阻抗提高, 就能相应地提高低频区的放大倍数。实践证明, 当 $R'_o \cdot c'_g = R_g \cdot c_g$ 时, 低频补偿效果最好。

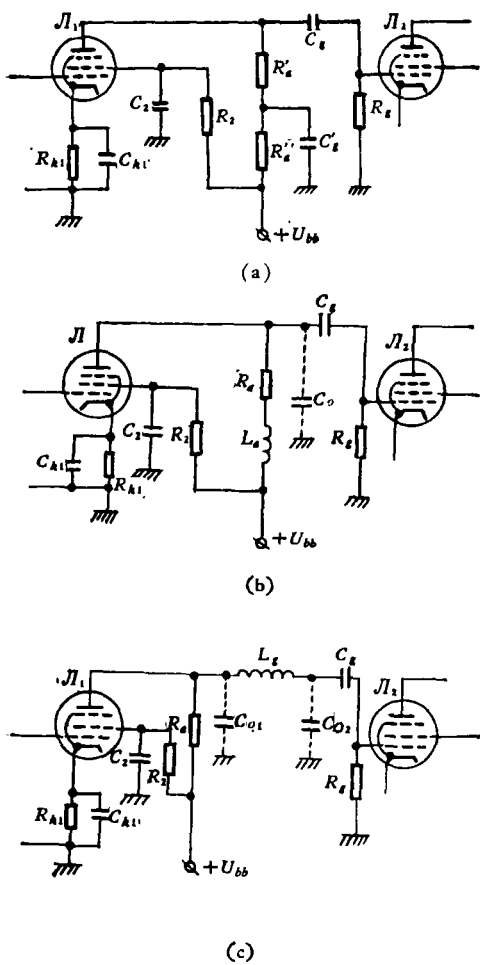


图 21 低频、高频补偿电路

高频补偿电路如图 21(b), (c) 所示。(b) 图是并联补偿。利用电感 L_e 和潜在电容 C_0 在高频区所要补偿的频率上产生并联谐振, 增大了放大器的有效负载阻抗, 提高了放大倍数。(c) 图是串联补偿。利用电感 L_e 和潜在电容的一部分 C_{02} , 在高频区所要补偿的频率上发生串联谐振, J_1 的屏流大部分流过 L_e 和 C_{02} , 而 C_{02} 的阻抗又很大, 这就增加了高频区的放大倍数。

要求对低频和低频信号都有均匀的放大能力, 在放大级中往往同时运用低频和高频补偿网路。如图 22, 图中除补偿元件外, 电容 C_K, C_2, C'_e 数值很大, 以便消除不需要的低频成份; 电容 C'_K, C'_2, C'_e 数值很小, 用以消除不必要的高频成份。

在研究缓慢变化的信号时, 采用直接耦合的放大级, 效率更高。如图 23(a), 是广泛采用的平衡式直接耦合放大级。它的高频响应同样可以做得很好。图 23(b) 是另一种串联平衡直接耦合放大级的原理图。它相当于一个电桥。无输入信号时, 电桥平衡; 没有输出。有输入信号, 电桥平衡破坏, 放大级就有输出。电

阻 R_3 用来调节电路的静态平衡。在实用的直接耦合放大器电路中, 减少零点漂移, 提高电路工作的稳定性是要着重解决的问题。

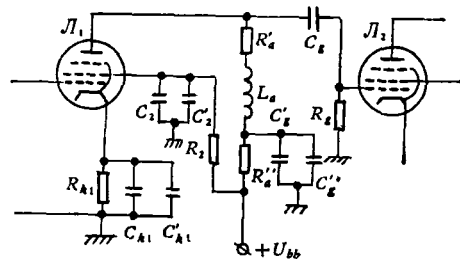


图 22 低频和高频补偿电路的同时运用

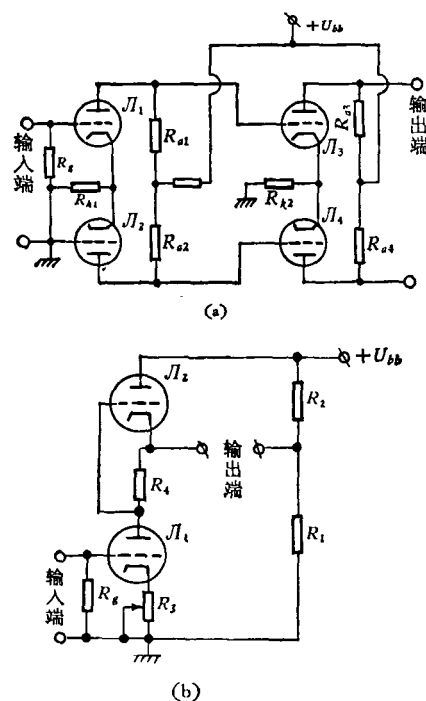


图 23 直接耦合放大级电路

2. 推挽与倒相

输出级是放大器的紧要部分。它解决放大器与示波管偏转系统之间的最佳连接问题。该级输出电压幅度较高, 偏转系统对地的潜布电容较大, 怎样保证在较宽频率范围内放大均匀, 输出与输入电压间有良好的正比例关系(幅度线性), 必须采取措施。为了改善放大器的品质, 满足示波管偏转电压对称输入的要求, 输出级经常采用推挽放大级。

如图 24 电路, 是有高频补偿的推挽输出级。图中 L_1-L_4, R_1 和 R_2 用作补偿元件。推挽放大级需要一对等值而反相的信号推动, 这就用倒相器。图 25(a) 是具有屏极和阴极负载的倒相器电路。由于 $R_1 = R_2$,

故有对称的输出信号。该电路简单经济，放大性能稳定，非线性畸变小，也常单独用作扫描电压放大器的输出级。图 25(b) 则是阴极耦合倒相器电路。

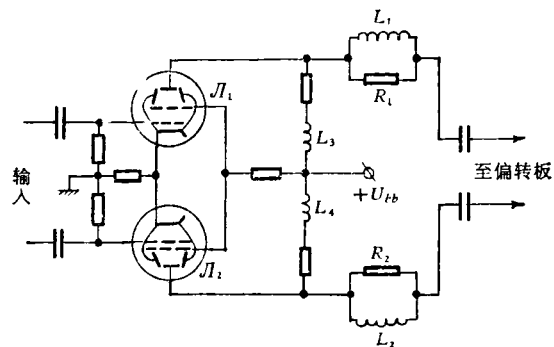


图 21 具有高频补偿的推挽输出级电路

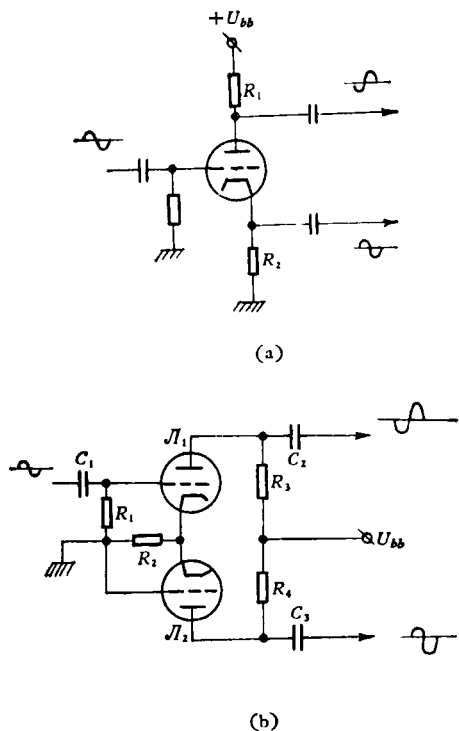


图 25 倒相器电路

输出级的输出信号，可以经过电容器耦合至偏转板(见图 24)，也可以采用直接耦合的办法。例如图 26 所示，其中电阻 R_1 和 R_2 是隔离电阻，电感 L_1 和 L_2 用作高频补偿。

应指出，只有严格保证元件器件参数和电路工作状态的对称，才能充分发挥推挽放大级的优点。

3. 衰减器

一个完善的放大器须备有衰减器，用以控制输入

信号的大小。衰减器应具有较高的输入阻抗，能均匀调节，在输入信号的整个频率范围内，应保持衰减倍数不随信号频率改变。

图 27(a), (b) 分别是连续调节和阶梯式调节的衰

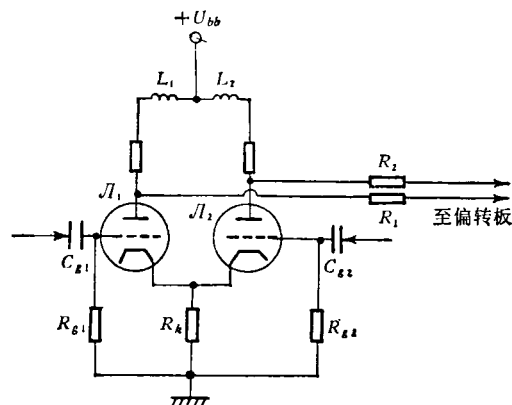
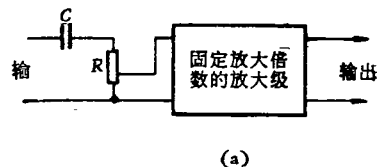
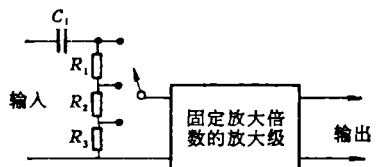


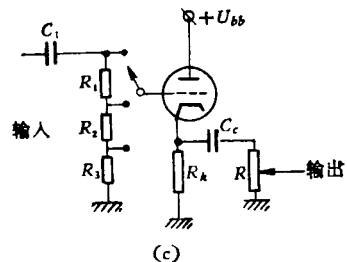
图 26 输出信号的直接耦合



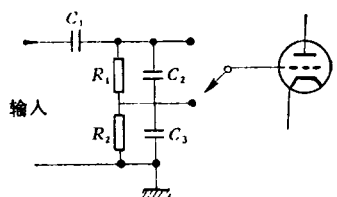
(a)



(b)



(c)



(d)

图 27 几种衰减器的电路

减器。在示波器中,常采用综合式衰减器,并用阴极输出器把两种衰减器隔开[图 27(c)]. 考虑到电子管栅极耦合电容和潜布电容的作用,在信号频率变化时(尤其低频区和高频区),衰减倍数会随着改变,产生失真。如果在衰减器电阻上分别并联适当容量的电容器[图 27(d)中的 c_2 和 c_3],就能保证衰减系数在相当宽的频率范围内,不随频率改变,有利于放大器频率范围的扩展。衰减器和放大器的输入级应当很好地屏蔽,尽量减小外界杂散电磁场的干扰。

示波器放大器的输入电阻在 1 兆欧以上(低频示波器的一般是几百千欧),输入电容在几十微微法以下。放大倍数从几十至几千不等。简易示波器对放大器并无特殊要求,无须采取频率补偿法。一般示波器放大器的频率范围约从几十赫至 0.5—1 兆赫。宽频带示波器放大器的频率范围可以从零扩展到几十兆赫,几百兆赫。

由于示波管水平偏转板灵敏度比垂直板的更低,所以扫描电压以及想要送到水平偏转板的信号,也需要放大器。一般好的通用示波器有相同的垂直和水平放大器。简单示波器中,水平放大器可以少一至两级,但频率范围应和垂直放大器相差不多。在宽频带示波

器里,垂直放大器的频率范围要高至几十兆赫以上,而水平放大器的频率范围却只有几百千赫到几兆赫。这是可以的。因为应用这类示波器,并不要求在两个放大器上加同性质的信号。

四、电 源

电源设备是电子示波器的能源。它提供示波管、放大器、扫描发生器等正常工作所必须的各种电压和功率。

示波管聚焦加速系统与其配分压器消耗的功率,总共不过一、两瓦,电压在几百伏至几千伏。因此用半波整流(或倍压整流)和电阻电容滤波器(如图 28)已能获得满意的结果。采用高频高压电源(图 29),有利于高电压的稳定和处理高压绝缘,并能缩小电源体积,减轻重量。当负载消耗超过正常运用范围时,高频电源立即停振。因此这种电源是很安全的。该电源是通过高频振荡器(几十或几百千赫),把中压电源的能量转换为高频振荡,再由一个高 Q 值、高阻抗的线圈 L 产生所需的高电压。使用高频高压电源要注意屏蔽和接地,用以消除有害干扰。

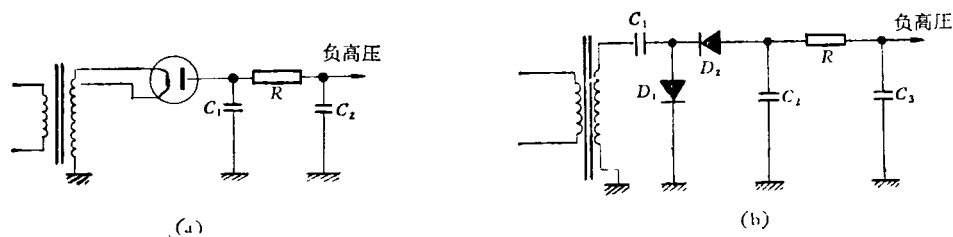


图 28 用半波整流和电阻电容滤波器组成的电源

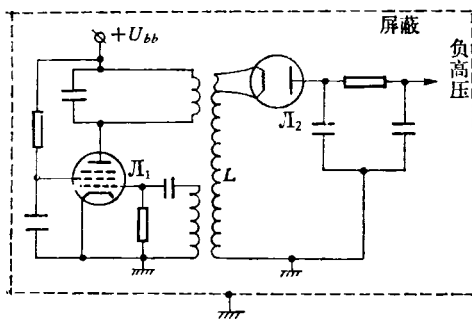


图 29 高频高压电源

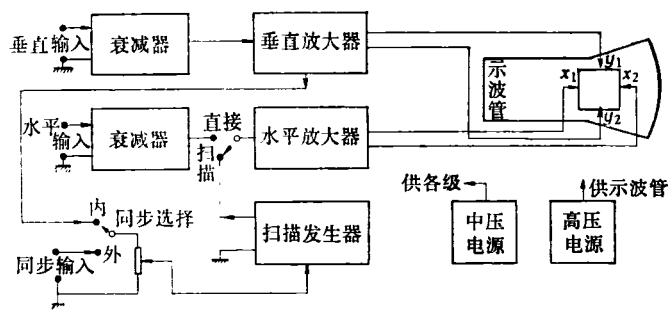


图 30 电子示波器基本组成部分方框图

屏极电源约几百伏,由全波整流电路供给。由于市电变化以及电路消耗功率随信号大小改变,会引起屏压源电压波动,不利于示波器正常工作。一般好的示波器都选用性能较好的电子稳压器作为屏压电源。

电源变压器初次级线圈间要有良好的静电屏蔽。为示波管灯丝供电的线圈应单独屏蔽并采取高压绝缘

措施。

电子示波器基本组成部分间的连接如图 30 所示,较完善的通用示波器方框图如图 31 所示。

在伟大领袖毛主席关于“独立自主、自力更生”的光辉思想指引下,我国工人阶级打破洋框框,走自己工业发展的道路,推动了电子工业的迅速发展。现在我

已经能够生产包括取样示波器，行波示波器和各种图示仪等多种通用和专用的精密示波器，把频率范围扩展到千兆赫以上。记忆示波器是示波器的新品种，它是为了观测单次性信号，使用了记忆示波管和记忆控制电路而构成的。

电子示波器发展的趋向是：(1) 提高测量精确度，扩大量程范围，提高频率指标，保证足够的稳定性和可靠性。(2) 使调整机构用半自动或自动化方法控制，以达到操作简便、观测迅速的目的。现已出现扫描、放大倍数自动选择的示波器。(3) 采用印刷电路、晶体管、固体组件、微型元件等，缩小体积，减轻重量，提高结构的空间利用率。(4) 发展“万用示波器”。其特点是把通用性质的基本单元组成一个基型品种，利用可以代换的插入

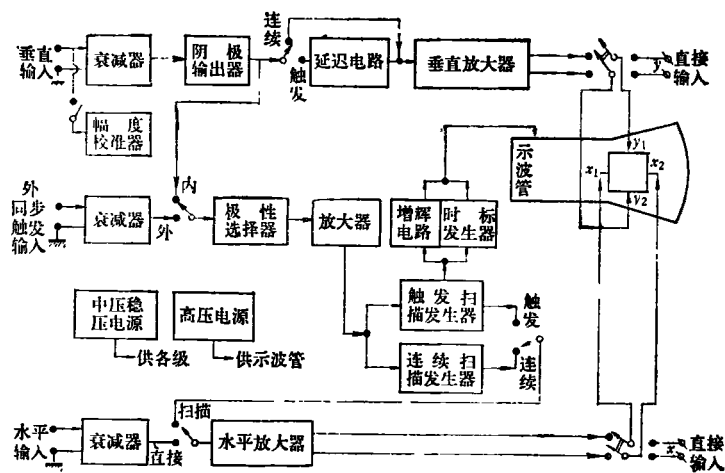


图 31 较完善的通用电子示波器方框图

式单元来适应各种不同的用途。

(上接 367 页)

“力”的概念，夸大力量的作用，妄图用力去解释各种复杂的运动现象，把重力或引力看成是运动的源泉，是物质的本质，结果便有多少种运动就想象出多少种力与之相适应，甚至把能量守恒定律也称作“力的守恒定律”。并且还顽固地为这种作法辩护，鼓吹这样作就把复杂的自然过程的规律客观化了。恩格斯对此作了严厉的批判，严肃地指出，这是把主观的东西强塞给客观的唯心主义作法，无情地嘲笑这种所谓的“客观化”实际上

是“主观化”，是企图找力作避难所，以掩盖在科学上的无知和不求甚解。最后，恩格斯详细地揭露了赫尔姆霍茨用“力”去代替“能”在进行科学计算时所造成的矛盾和混乱，从而充分地说明了“力这个概念”，“在从事计算的力学范围以外的任何研究领域，在科学上都是不适用的”。(第 69 页)。赫尔姆霍茨的教训，从反面证明了用辩证唯物主义指导自然科学研究的必要性。