

简易电子示波器*

陈鹏飞
(北京市通县西集中学)

在中学物理教学中,学生对电流、电压的波形常常感到抽象,不易掌握。列宁说:“**理论由实践赋予活力,由实践来修正,由实践来检验**”¹⁾。我们如果能利用示波器把特定的波形直接在屏上显示出来,将能收到良好的效果。

最近,我校利用廉价材料试制成功一台电子示波器,它能显示整流后脉动电压波形、二极管和三极管的特性曲线、音频电压、高频调幅波等波形,并能用于放大器的放大作用和失真现象的演示,适于中学的物理教学使用。

这台示波器,材料少,线路简单。全机只用四只电子管,各种零件尽量采用处理品,和通用零件,因而便于自制。这台示波器全部成本不到30元。它的主要缺点是由于采用5SJ38小型示波管,因而图形较小。有条件可改用8SJ29,线路无须大的变动。此外,仪器灵敏度较低,必要时可再加一级放大。

示波器的原理如方框图1所示。示波器的线路见图2。现将该示波器的各部分分别介绍如下:

一、电源部分

为了简便起见,电源变压器采用普通五灯收音机变压器,不必改绕。示波管灯丝由6.3V、0.6A绕组单独供给。扫描和放大级需要的高压,由晶体二极管2CP17整流得到。 D_1 、 D_2 组成全波整流电路,经滤波后,直流电压为300V。

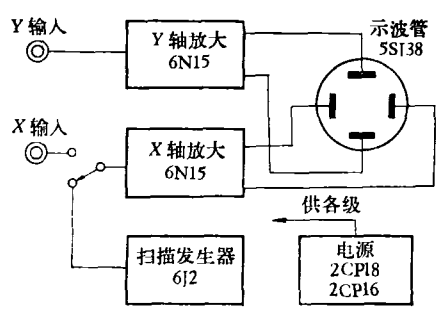


图1 原理方框图

示波管要求的直流高压由 D_3 、 D_4 组成倍压整流电路供给。在 L_4 上,电压为250V时,高压输出端电压在550V以上。要注意,电路输出电压,对地点而言是负的高压,也就是高压输出是正端接地的。这样示波管的阴极和第二阳极间的电压为850V以上,可使示波管屏上有足够的亮度。 D_3 、 D_4 为2CP20晶体二极管,耐压在600V以上。

由于示波器中高压负载电阻很大,因而 π 型滤波器的滤波电容用 $0.1\mu\text{f}$ 就可起到足够的平滑作用。但是这两个电容耐压要在1000V。而供扫描及放大的次高压滤波电路电容要用得大些($20\mu\text{f}$),才能保证输出电压足够高。

如自己绕制电源变压器可参考图3表1的数据,示波管灯丝必须由单独的6.3V绕组供给,并特别注意它和其它绕组间的绝缘。如使用的示波管比较旧,它的灯丝电压可略提高到7.5V,以提高阴极发射电子的能力。

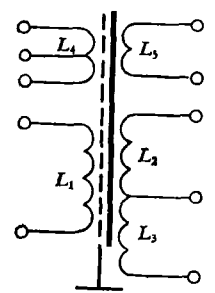


图3 电源变压器的绕制

表1 电源变压器数据

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
空载电压	220 V	250 V	250 V	6.3 V 中心抽头	6.3 V
线径 mm	0.3	0.15	0.15	0.9	0.7
匝数	1300	1500	1500	42 中心抽头	42

铁心截面 $22 \times 35 \text{ (mm)}^2$

*1974年3月6日收到。

1) 列宁,《怎样组织竞赛?》,《列宁选集》第3卷,人民出版社(1972),398。

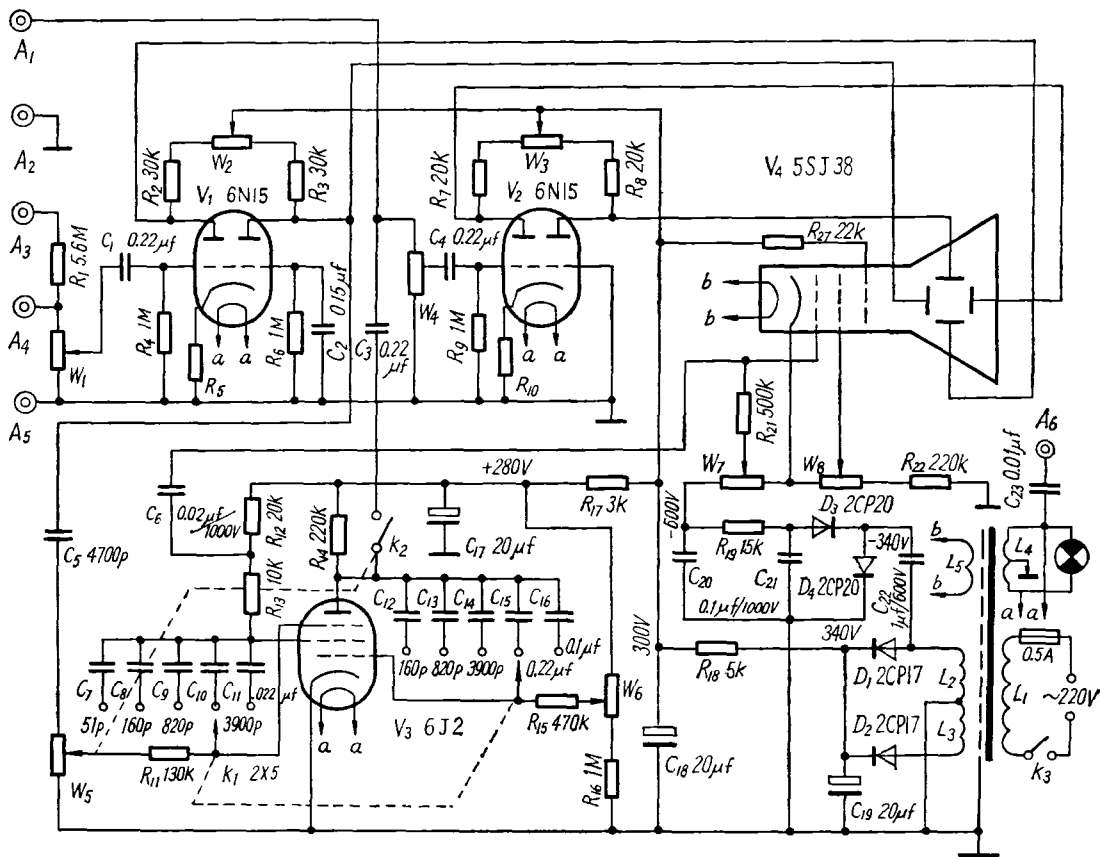


图2 电子线路图

二、扫描部分

示波管中有两对互相垂直的偏转板，若在上面加上电压，示波管中的电子束就会在它们的作用下发生偏转。通常，我们使电子束沿 X 轴方向匀速运动，进行“扫描”，到端点后又极迅速地返回起点（称回扫），要在水平偏转板上加“锯齿波电压”，它的波形如图 6(a) 所示。

当待测讯号电压加到垂直偏转板时，就能将它波形展开显示在屏上。

这台示波器产生锯齿波电压的扫描级由五极管 6J2 等组成。电源接通时，电流经 R_{14} 、 R_{15} 、 R_{16} 对电容 C_{12} — C_{16} 中的一个充电，同时电流也经 R_{12} 、 R_{13} 、 R_{11} 对 C_7 — C_{11} 中的一个充电。充电过程中，电容两端电压逐渐提高，使 6J2 的屏极电压和帘栅电压也都增高，当增加到一定程度时，电子管突然导通，这时电容经电子管迅速放电，但放电电流经过 R_{15} 、 R_{16} 及 R_{11} ，使电子管栅极和抑制栅极都处于负电位，导致电子管截止。于是，电源再对电容二次充电，开始下一周期。

由于 C_7 — C_{11} 相对应地比 C_{12} — C_{16} 容量都要小，

能很快充电完毕，使帘栅压升高，促使电子管导通，因而， C_{12} — C_{16} 充电时可认为它两端电压随时间直线上升，输出的锯齿电压有较好的线性。这电压放大后加到水平偏转板上，用来进行扫描。为了使电容放电时（即回扫时），示波管屏上不显示光点的轨迹，利用这时帘栅压的突然降低，将这个负电压变化通过 C_6 送到示波管栅极，减低示波管光点的亮度，使屏上回扫线消失。

电路的扫描频率决定于电容的充、放电时间。这里通过转换开关 K_1 改变电容量作为粗调，而电位器 W_5 为频率细调。 W_6 是同步调节电位器。为简化电路，本示波器同步方式只用机内正同步。被测试讯号放大后，经 C_5 加到 W_7 上，作为同步讯号。调节同步讯号大小，使扫描频率和待测讯号频率保持联锁整数比的关系，稳定扫描频率，使屏上得到静止的图形。

三、放大部分

一般应用中，被测试讯号和扫描发生器的锯齿波电压都需要经过一定的放大，才能使示波器的电子束在屏上有明显的偏转。本示波器中 X、Y 轴放大器分别都用双三极管 6N15 担任。

以Y轴放大器为例,它的工作原理是这样的:待测讯号电压经 C_1 加到 V_1 管左边的栅极上,经放大后从左边屏极输出与它相位相反的放大电压。由于右边三极管的栅极对交流信号相当接地,它从阴极电阻 R_1 上得到的电压变化和输入讯号相位相反,因而从 V_1 的右边屏极输出与输入讯号相位相同的放大电压。正确选择阴极电阻的大小,可使由两屏送到示波管偏转板的两个电压相位相反,而大小相等。这能使示波管偏转板之间的电场均匀,聚焦良好,减小图形的失真。

X轴放大器工作原理与Y轴放大器相同。它通常放大由扫描发生器产生的锯齿波电压,加到示波管水平偏转板上进行X轴扫描。某些情况下,例如当要把外讯号加到X轴上时,可通过同步电位器上的开关 K_1 将机内扫描讯号断开。

电位器 W_2 、 W_3 用来改变两个偏转板的直流电压,从而移动图象在屏上的位置。

在输入讯号过强时,如果需要直接观察市电波形,则讯号要从接线柱 A_1 输入,这时讯号经过了10倍的衰减。

四、安装和调整

全部零件安装在面积 $220 \times 220 \text{mm}^2$ 的铁底板上,

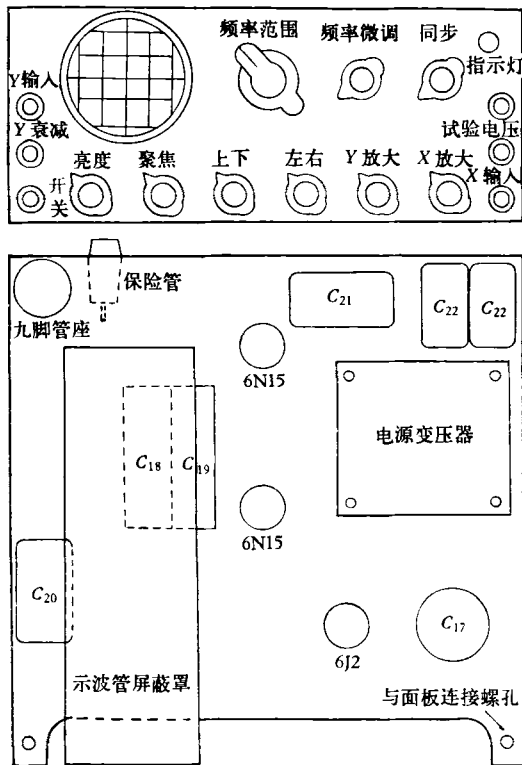


图4 主要零件位置及版面安排

面板高度 90mm,主要零件位置及面板安排如图4所示,图中各开关、电位器的数据见表2。

为了减小仪器高度,底板高度仅2cm,这样要在其前沿挖进一个缺口供装电位器用。滤波电容用直立式铝壳的,可节省空间位置,如用纸质电容,则要放在底板上面,把接线引下去。

示波管用5cm直径铁皮筒作为屏蔽,萤光屏外衬一张划上坐标格的透明胶片。在找不到它专用的八脚管座时,可以从普通八脚管座里拆下焊片来,套在示波管管脚上,将引线直接焊在上边,然后通过一个九脚管座接到底板下边。

焊接时要注意接线排列整齐,扫描发生器引线要短直。同样走向的接线要用塑料丝扎在一起,不能在底板下纵横散乱,否则,非但不便于检查维修,而且会严重影响各级的正常工作。

扫描频率转换是使用双刀六掷开关 K_1 ,最好选用带后方支架的,这样可以把电容很方便地焊在开关的四周。各管管脚接线如图5所示。

安装完毕,接线检查无误,即可进行整机调整。通上电源后等2—3分钟,先用万用表测各点电压,看和线路图及表3所标值是否大致相符,情况正常时示波管屏上就会出现亮点,旋动亮度聚焦、左右位移、上下位移,四个旋钮都会起作用。

这时,把扫描频率放在最低一档,将实验电压接线柱 A_1 和Y轴输入接线柱 A_2 ,用导线连接起来,调节其它旋钮,即能得到一个稳定的正弦波形(这就是50周的市电波形)。在仪器没有调整好时,这个图形往往有严重畸变,甚至无法稳定。

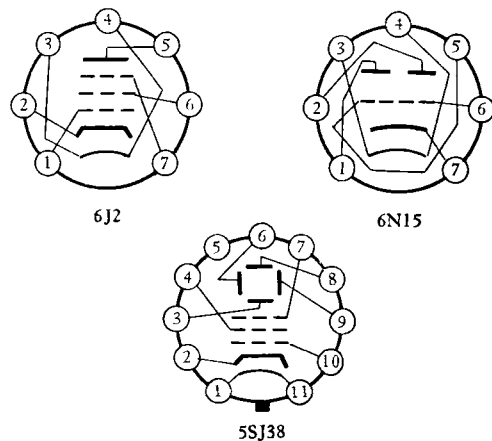


图5 管脚接线

在业余条件下,没有足够的仪器用来进行调整似乎困难较大。因为示波管中的电子束要同时受水平方向和垂直方向两个作用而运动。但正如毛主席教导的那样:“矛盾着的两方面中,必有一方面是主要的,他

表2 各开关、电位器数据

标号	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	K_1
用途	Y轴幅度	上下	左右	X轴幅度	同步电压	频率微调	亮度	聚焦	频率范围
规格	560 k	100 k	100 k	560 k	56 k	2.7 M	560 k	560 k	双开关

表3 电子管各脚电压(伏特)

用途	管号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X轴放大	6N15	200/-250	250 ^① /-200	~3.15	~3.15			9				
Y轴放大	6N15	200/-250	250 ^② /-200	~3.15	~3.15			7				
扫描发生器	6J2	-3 ^③ /-8	0	~3.15	~3.15	200	250					
示波管	5SJ38 ^④	灯丝	-450	220	-270		240	300	220	240	380	灯丝

① 图形从最左到最右；② 图形从最上到最下；③ 频率微调由高到低；④ 图形最佳时

方面是次要的。”¹⁾在示波器中，X轴扫描是作为图形的时间基线的，它对图形好坏起支配地位，是矛盾的主要方面，我们要首先全力解决。

一般说，输入正弦电压时，如屏上图形出现疏密不匀，图形挤在一边，线条有不规则毛刺，回扫线过亮等现象，毛病多是由于扫描不良引起的。扫描问题解决后，图形在水平方向无较大失真，矛盾的主要方面即转为放大器问题。垂直放大器造成的失真，往往使波形产生“削峰”或正负半波上下不对称。

扫描不良时，可调节电阻 R_{11} 、 R_{12} 大小，放大器工作好坏则主要由屏极电阻 R_2 、 R_3 、 R_7 、 R_8 及阴极电阻 R_5 、 R_{10} 决定。调整时可用电位器逐个代替这些电阻。先调水平放大器，后调垂直放大器，一面观察屏上的波形。当波形趋于完好时，即用固定电阻替换。需要这样反复调整几次，一直到屏上出现一个平滑均匀的完好正弦波形。

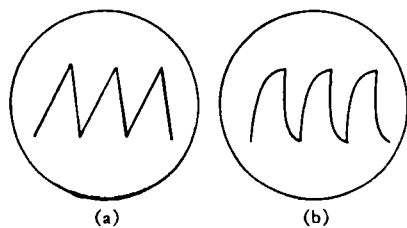


图6 引入波形

有条件时，利用一台良好的示波器来进行调整，能得到更好的效果。对扫描级的要求是振荡稳定，扫描线性好，回扫快，频率范围准确，观察从扫描输出端(6J2屏极)引入的波形，应是如图6(a)的锯齿波。如出现图6(b)所示情况，可反复调整 R_{11} 、 R_{12} ，调整时要注意兼顾线性、频率和回扫。将正弦信号(小于1V)加到放大器上，即可用示波器观察放大器的工作好坏，要求它有最小的失真而又有足够的放大。

扫描级的扫描频率大小是由转换开关 K_1 及调节 W_5 决定。我们可以用波形良好的正弦讯号发生器来检查各档扫描的频率范围。不加同步(W_5 放在最小)，当频率微调放在最小位置选择正弦讯号频率，在荧光屏上出现稳定的近似一个周期的正弦波时，讯号频率即这档的最低频率，同样可将频率微调放在最大位置，测出这档最高频率。本机设计的扫描频率是20周—100周—500周—2.5千周—10千周—30千周五档，如范围相差不大可通过略微调节 R_{11} 校正(兼顾扫描线性)。如离要求标准太远就要改变各档电容的数值逐级调试校准。

调整完毕，将整个底面板装入铁皮制外壳内，前面装一个活动提手，使用时可把提手翻下将示波器前面支起，便于观看。

1) 毛泽东，《矛盾论》，《毛泽东选集》一卷本，人民出版社，(1969)，297。