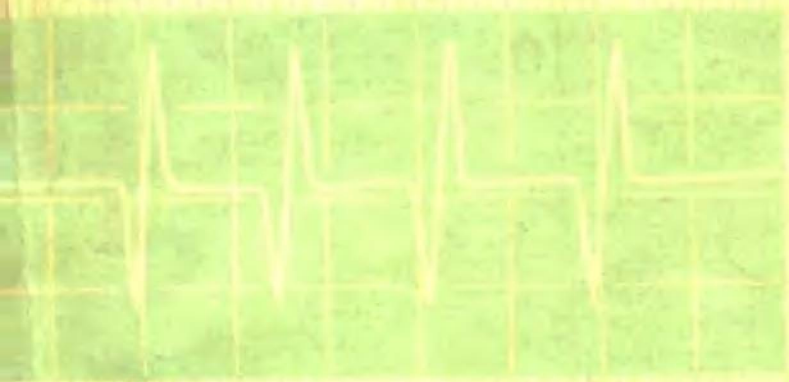




通用示波器及其应用

国营红华仪器厂 西安交通大学仪表教研室编译 人民邮电出版社出版

内 容 提 要

本书以两种通用示波器（*SBT—5*型示波器和*ST—22*型示波器）为例，介绍示波器的基本原理和使用方法，着重介绍示波器的应用，例如，测量电压、电流、时间、频率和相位，与扫频发生器的配合使用，检验分立元器件、放大器和放大器电路、通信设备或电视接收机，以及示波器在工业上的应用。

本书适合于使用示波器的广大工农兵参考。

通 用 示 波 器 及 其 应 用

国营红华仪器厂 编译
西安交通大学仪表教研室

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1977年8月 第 一 版

印张：7 12/32 页数 118 1979年8月河北第2次印刷

字数：163 千字 印 数 28,001—126,000册

统一书号：15045·2155—1有560

定价：0.60 元

再 版 前 言

示波器是近代电子学的重要测量工具之一，同时也是其他许多领域应用最广泛的测量仪器之一。它不仅可以直观地显示并测量快速脉冲、变化缓慢的非周期性信号及突发的单次脉冲；还可以通过换能器将各种非电量，如速度、压力、应力、振动、冲击、声、光、热、磁等，变换为电量进行显示和测量。

示波器的种类很多，使用比较广泛的是单踪单扫描通用示波器和双踪双扫描通用示波器。

本书是参考一九六八年版《*Hand Book of Oscilloscope Theory and Application*》编译的。原书从使用角度介绍了通用示波器的基本原理，并较为全面地叙述了通用示波器的应用技术，是一本专业性的普及读物。

为了适应我国读者的需要，编译时，将原书中述及的示波器、元器件、仪表与设备等，改为相应的国产产品；操作程序、图表及文字说明等也作了相应更改；删去了原书第三章，增添了“示波器的校验”一章；其他章节也略有调整与增删。

在编译过程中，得到了宁波东风无线电厂等兄弟单位的热情支持，在此表示感谢。

限于我们的水平，本书一定会有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编译者

34597

目 录

第一章 示波器波形显示原理	(1)
1—1 示波管.....	(1)
1—1—1 电子枪	(2)
1—1—2 偏转系 统.....	(4)
1—1—3 荧光屏	(5)
1—2 示波器显示波形的原理.....	(6)
1—3 示波器基本电路.....	(8)
1—3—1 主机	(8)
1—3—2 垂直偏转系统 (垂直通道)	(9)
1—3—3 水平偏转系统 (水平通道)	(10)
第二章 旋钮和开关的作用	(12)
2—1 ST—22型示波器的旋钮和开关	(12)
2—1—1 主机	(14)
2—1—2 垂直偏转系统	(15)
2—1—3 水平偏转系统	(18)
2—2 SBT—5型示波器的旋钮和开关	(27)
第三章 示波器探头	(30)
3—1 基本的示波器探头.....	(30)
3—2 无源电压探头.....	(32)

3—3	有源电压探头.....	(33)
3—4	高压探头.....	(34)
3—5	射频探头.....	(35)
3—6	检波探头.....	(36)
3—7	电流探头.....	(37)
3—8	探头的正确使用.....	(39)
3—8—1	探头补偿	(39)
3—8—2	电路负载	(40)
3—8—3	使用探头的注意事项	(40)
第四章	使用注意事项及基本操作程序.....	(41)
4—1	使用注意事项.....	(41)
4—1—1	电子测量仪器使用的一般注意事项 ...	(41)
4—1—2	示波器使用的注意事项	(42)
4—2	将示波器调至工作状态—基本操作程序.....	(44)
4—2—1	SBT—5型示波器的基本操作程序 ...	(44)
4—2—2	ST—22型示波器的基本操作程序.....	(45)
4—3	示波器的常用工作方式.....	(47)
第五章	示波器的校验.....	(50)
5—1	图象校正(几何图形失真校正).....	(50)
5—2	基线旋转.....	(51)
5—3	垂直通道直流平衡的检查与调节.....	(51)
5—4	垂直偏转灵敏度的校准.....	(52)
5—4—1	ST—22型示波器垂直偏转灵敏度的校 准	(52)
5—4—2	SBT—5型示波器垂直偏转灵敏度的校	

准	(52)
5—5 垂直通道稳态及瞬态特性的检查	(53)
5—5—1 稳态特性 (带宽) 的检查	(55)
5—5—2 瞬态特性的检查	(56)
5—6 灵敏度开关的校准	(58)
5—6—1 <i>ST</i> —22型示波器垂直偏转灵敏度 (V/cm) 开关的校准	(59)
5—6—2 <i>SBT</i> —5型示波器 “ <i>Y</i> 轴衰减” 开关的 校准	(60)
5—7 <i>X</i> 轴和 <i>Y</i> 轴系统的相位差检查	(60)
5—7—1 <i>ST</i> —22型示波器 <i>X</i> 轴和 <i>Y</i> 轴系统相位 差的检查	(60)
5—7—2 <i>SBT</i> —5型示波器 <i>X</i> 轴和 <i>Y</i> 轴系统相位 差的检查	(61)
5—8 垂直通道间延迟时间差的检查	(62)
5—9 触发灵敏度及同步频率范围的检查	(63)
5—10 扫速误差的检查	(64)
5—11 扫描线性误差的检查	(65)
5—12 扫描扩展倍数的检查	(67)
5—13 校准信号输出幅度的检查	(68)
5—13—1 <i>ST</i> —22型示波器校准信号输出 幅 度 的检查	(68)
5—13—2 <i>SBT</i> —5型示波器 “比较讯号” 输出 幅度的检查	(68)
5—14 <i>SBT</i> —5型示波器时标信号频率 误差 的 检 查	(69)

第六章 电压和电流的测量..... (71)

6—1 示波器与被测信号的连接..... (71)

6—1—1 被测信号频率较低时的连接 (72)

6—1—2 被测信号频率较高时的连接 (72)

6—2 Y轴偏转灵敏度的测定..... (72)

6—2—1 SBT—5型示波器用内部比较讯号测定Y轴偏转灵敏度 (73)

6—2—2 ST—22型示波器用内部校准信号测定Y轴偏转灵敏度 (73)

6—2—3 ST—22型示波器用外接直流电源测定Y轴偏转灵敏度 (75)

6—2—4 SBT—5型示波器用外接交流电源测定Y轴偏转灵敏度 (77)

6—3 交流电压的测量..... (78)

6—3—1 SBT—5型示波器测量交流电压..... (79)

6—3—2 ST—22型示波器测量交流电压..... (81)

6—4 直流电压的测量..... (81)

6—5 合成电压和脉冲电压的测量..... (83)

6—6 电压测量—用校准信号源..... (85)

6—7 电流测量—用测试电阻器..... (86)

6—8 电流测量—用电流探头..... (87)

第七章 时间、频率和相位测量..... (88)

7—1 时间测量..... (88)

7—1—1 SBT—5型示波器测量交流电压的周期 (89)

7—1—2	ST—22型示波器测量交流电压的周期	(91)
7—1—3	时间间隔测量	(91)
7—1—4	ST—22型示波器测量两信号的时间差	(92)
7—1—5	SBT—5型示波器测量脉冲上升(或下降)时间	(93)
7—1—6	ST—22型示波器测量脉冲上升(或下降)时间	(94)
7—1—7	SBT—5型示波器测量脉冲宽度	(98)
7—1—8	ST—22型示波器测量脉冲宽度	(99)
7—2	频率测量	(100)
7—2—1	利用时间测量法确定频率	(100)
7—2—2	SBT—5型示波器用李沙育图形测量频率	(100)
7—2—3	ST—22型示波器用李沙育图形测量频率	(103)
7—2—4	SBT—5型示波器用断续环形图测量频率	(105)
7—2—5	ST—22型示波器用断续环形图测量频率	(106)
7—2—6	SBT—5型示波器用调制环法测量频率	(107)
7—2—7	ST—22型示波器用调制环法测量频率	(110)
7—2—8	SBT—5型示波器用断续线图形测量频率	(111)

7—2—9	ST—22 型示波器用断续线图形测量频率	(112)
7—3	相位的测量	(113)
7—3—1	SBT—5 型示波器用双踪法测量相位	(113)
7—3—2	ST—22 型示波器用双踪法测量相位	(116)
7—3—3	SBT—5 型示波器用 X—Y 法 (李沙育图形) 测量相位	(117)
7—3—4	ST—22 型示波器用 X—Y 法 (李沙育图形) 测量相位	(120)
7—3—5	电压与电流之间的相位测量	(121)
7—3—6	两电流间的相位测量	(123)

第八章 示波器与扫频发生器的配合使用

(125)

8—1	扫频发生器和示波器配合使用的基本测试方法	(126)
8—2	检验扫频发生器输出的均匀性	(128)
8—3	传输线的阻抗测量	(129)
8—4	阻抗匹配的测量	(131)
8—5	检验天线调谐装置的谐振频率	(132)
8—6	检验传输线的插入装置	(134)
8—7	输入和输出阻抗的测量	(136)
8—8	检验音频滤波器	(138)

第九章 分立元器件的检验

(141)

9—1	半导体整流管的测试	(141)
9—2	半导体小功率二极管的测试	(143)
9—3	半导体二极管反向恢复时间的测试	(144)

9—4	晶体管输出特性的测试	(146)
9—5	晶体管开关时间的测试	(148)
9—6	隧道二极管负阻特性的测试	(150)
9—7	磁性元件的测试	(151)
9—8	用示波器作为交流电桥的零值指示器	(153)
9—9	电位器的测试	(155)
9—10	继电器的测试	(157)
9—11	振动子的测试	(159)
9—12	斩波器的测试	(161)
第十章	检验放大器和放大器电路	(163)
10—1	用示波器显示音频信号	(163)
10—2	用示波器测试音频响应	(165)
10—3	测量放大器的输出功率	(168)
10—4	测量放大器的噪声和交流声	(169)
10—5	检验放大器的失真	(172)
10—5—1	用正弦波分析检验失真	(172)
10—5—2	谐波失真分析	(172)
10—5—3	交调失真分析	(175)
10—5—4	用方波分析检验失真	(176)
10—6	测量放大器的相移	(179)
第十一章	检验通信设备	(180)
11—1	检验话筒	(180)
11—2	检验调幅发射机的调制系数	(181)
11—3	用梯形图检验调幅发射机的调制系数	(183)
11—4	检验发射机的调制电路	(185)

11—5	检验发射机射频电路的倍频·····	(185)
11—6	校准调幅或调频中频放大器·····	(187)
11—7	校准调幅或调频接收机的高频电路·····	(188)
11—8	校准调频检波器 (鉴频器) ·····	(190)
11—9	检验接收机音频电路·····	(190)
第十二章 检验电视接收机·····		(192)
12—1	观察电路的信号波形·····	(192)
12—2	电视接收机的调准·····	(194)
12—2—1	高频电路的调准·····	(194)
12—2—2	图象中频放大器的调准·····	(196)
12—2—3	视频放大器的调准·····	(197)
12—2—4	伴音通道的调准·····	(198)
第十三章 示波器在工业上的应用·····		(200)
13—1	用脉冲发生器和示波器测量传输系统的阻 抗·····	(200)
13—2	用示波器测量应变·····	(203)
13—3	用示波器测量加速度·····	(204)
13—4	用示波器测量压力·····	(205)
13—5	用示波器测量噪声·····	(206)
13—6	用示波器测量声学噪声·····	(208)
13—7	用示波器测量振动·····	(209)
13—8	用示波器测量转速·····	(209)
13—8—1	频率式转速换能器的操作方法·····	(210)
13—8—2	电压式转速换能器的操作方法·····	(211)

13—9	用示波器测量闸流管和可控硅整流器的导通角.....	(211)
13—10	用示波器测量电源纹波	(213)
13—11	用示波器测量整流子的纹波	(215)
13—12	用示波器检验振荡器电路	(217)
13—13	用示波器测试计算机	(218)

第一章 示波器波形显示原理

示波器是一种快速的 $X-Y$ 描绘器，可根据需要，描绘出输入信号对另一信号或者输入信号对时间的关系曲线。在示波管的屏面上，有一个光点随输入电压而移动，起类似记录笔的作用。在一般情况下， Y 轴（垂直轴）输入端接入被测电压信号，使光点依电压的瞬时值作上下移动； X 轴（水平轴）输入端接内部产生的随时间作线性变化的锯齿波电压，使光点均匀地从左到右扫描。于是，在荧光屏上，光点描绘出输入电压随时间变化的曲线。

如果被测信号以足够快的速度重复出现，并与锯齿波间保持固定的时间关系，则显示的曲线可保持稳定。示波器就是这样一种可将随时间变化的电压描绘成可见图象的工具。并且，现已成为电子测量的通用仪器。示波器除可进行电压测量外，利用换能器还可以将应变、加速度、压力和其他物理量转换成电压进行测量，因此，可将多种动态现象显示成可见的图象。

1—1 示波管

示波管是示波器的主要器件之一，其作用是把被测电压转换成发光的图形，其结构如图1—1所示，包括电子枪、偏转系统及荧光屏三部分。

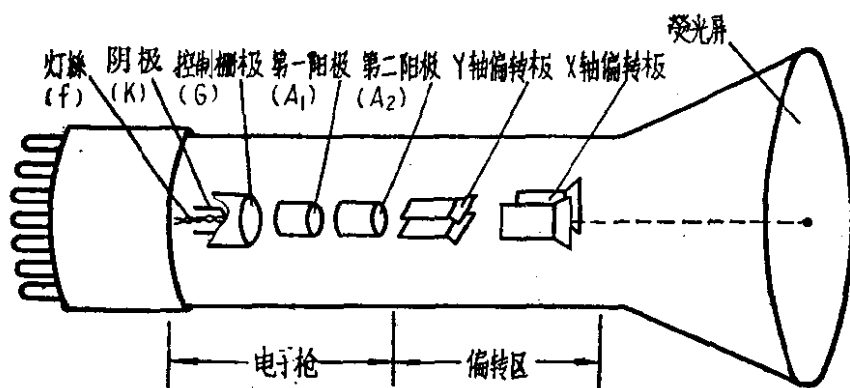


图 1—1 示波管结构

1—1—1 电子枪

电子枪的作用是发射电子并形成很细的射束，它由灯丝 (f)、阴极 (K)、栅极 (G)、第一阳极 (A_1) 和第二阳极 (A_2) 组成。灯丝用于加热阴极。阴极是一个表面涂有氧化物的金属圆筒，在灯丝加热作用下，温度上升，一部分电子脱离金属表面，变成自由电子发射，自由电子在外电场作用下形成电子流。栅极为顶端装有带孔圆片的无底圆筒，套装于阴极之外，其电位比阴极为负，阴极发射出来的具有一定初速的电子，通过栅极和阴极间形成的电场使电子减速，初速大的电子可以穿过栅极顶端小孔射向荧光屏，初速小的电子则被电场排斥而折回阴极。如果栅极所加电压足够负，可使全部电子返回阴极，而不能穿过栅极的小孔，这样，调节栅极电位就能控制射向荧光屏的电子流密度。打在荧光屏上的电子流密度大，电子轰击荧光屏的总能量大，荧光屏上激发的荧光就亮一些；没有电子轰击荧光屏，荧光屏就不发光。所以，调节栅极与阴极之间的电压，可以控制荧光屏上光点的亮度，这就叫作辉度调节；如果从外部控制栅极与阴极之间的电压，使示波管的辉度随外加交流电压而变化，就叫作辉度调制。第一阳极 (A_1) 是一

个与阴极同轴的金属圆筒，圆筒内装有一个或几个具有同轴中心孔的金属膜片，用于阻挡离开轴线的电子，使电子流具有较细的截面；第二阳极（ A_2 ）通常也是一个与阴极和第一阳极同轴的圆筒。加到第一阳极的电压一般为几百伏，加到第二阳极的电压为几千伏，它们的作用是使电子流聚焦，形成电子束，并使其加速，以获得较大的能量。通常，第二阳极电位高于第一阳极电位，第一阳极电位高于栅极电位，三个电极所形成的电场，对阴极发射的电子进行轴向加速，并使之会聚成很细的电子束，这种作用称为聚焦作用。改变第一阳极电位可改变焦距，以控制电子束，使之在荧光屏上聚焦成细小的光点，保证显示波形的清晰，这叫作聚焦调节。

图1—1所示的示波管结构，有一个明显的缺陷：当改变第一阳极电位进行聚焦调节时，必然使电子束密度改变，引起辉度的变化，影响观测。为了消除上述缺陷，现在常采用如图1—2所示的具有加速极和第一阳极零电流的电子枪。

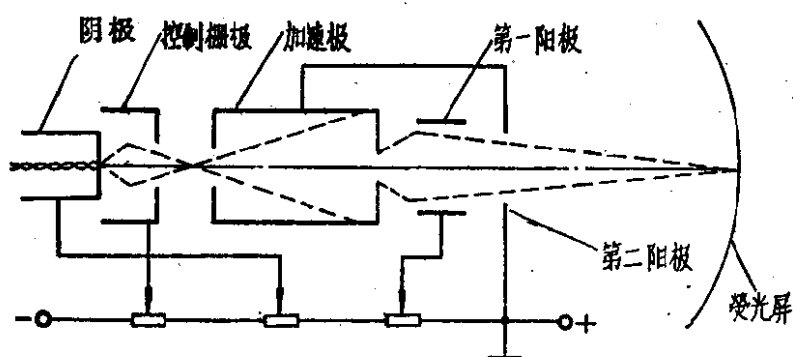


图 1—2 具有加速极和第一阳极零电流的电子枪

加速极位于栅极和第一阳极之间，其电位与第二阳极相同。加速极是一长形圆筒，内装一个或几个具有同轴中心孔的金属膜片，以使电子束具有较大的近轴性。第一阳极则为一带孔圆盘或短圆筒，由于孔径较大，不阻挡电子束，故其电流极小，仅起聚焦作用，且聚焦调节不影响电子束的密度。

1—1—2 偏转系统

示波管的偏转系统由两对互相垂直的偏转板组成，分别控制电子束的垂直与水平方向偏转。若偏转板结构完全平行，且不考虑其两端的边缘效应，则在垂直偏转板的上下偏转板分别加以正负电压时，经 A_1 、 A_2 加速的电子束将以较大的初速进入偏转板间，并作抛物线运动。在偏转板电压 U_y 的作用下，荧光屏上光点偏离中心的距离为

$$Y = \frac{kL_0 l}{2U_{a2} d} U_y = A_y U_y$$

A_y 为示波管垂直偏转板偏转灵敏度，表示加在偏转板上的每一伏电压所引起屏面上的偏转值，是设计示波器的一个重要参数。对同一类示波管来说， A_y 为常数； L_0 为偏转板的中心至荧光屏的距离； l 为偏转板的长度； U_{a2} 为第二阳极对阴极的电位值； d 为两块偏转板之间的距离； k 表示由于边缘效应造成的电场扭曲，使电子束偏转与理想情况不符的一个修正系数，其值取决于板间的距离和板的长度。偏转距离 Y 与所加电压 U_y 成正比。

一般情况下， Y 偏转板在前， X 偏转板在后， Y 偏转板的灵敏度比 X 偏转板灵敏度高。如 $SBT-5$ 型同步示波器所用的 $13SJ38J$ ①示波管：

$$A_y = 0.66 \sim 1.0 \text{ mm/V} \quad A_x = 0.45 \sim 0.62 \text{ mm/V}$$

$ST-22$ 型通用示波器所用的 $13SJ62J$ 示波管：

$$A_y = 2.5 \sim 3.3 \text{ mm/V} \quad A_x = 0.77 \sim 1.25 \text{ mm/V}$$

① $13SJ38J$ 是一种示波管的型号，13 为管子荧光屏尺寸（圆管时为直径 13cm ，矩形管时为对角线 13cm ）， SJ 表示静电偏转式示波管，38 为产品序列， J 表示管子是中余辉的。其他示波管型号表示的意义同此。

习惯上, 往往用 A_y 和 A_x 的倒数表示偏转灵敏度的值, 符号为 K_y 和 K_x , 其含意为光点每偏转 1 cm (或 1 格) 在偏转板上所需加的电压值。

1-1-3 荧光屏

涂在荧光屏内表面的是荧光粉, 电子束打在荧光屏上使它发光, 显示出所加电压的图形。荧光屏发光的颜色、发光效率及余辉时间, 由荧光粉的性质决定。

荧光粉从激发停止时的瞬间亮度下降到该亮度的 10% 所经过的时间, 称作余辉时间。余辉时间的划分如下:

大于 1 秒	极长
100 毫秒 ~ 1 秒	长
1 ~ 100 毫秒	中
10 ~ 1000 微秒	中短
1 ~ 10 微秒	短
小于 1 微秒	极短

荧光屏的发光亮度与电子束密度及加速电压有关, 通常改变栅压可控制电子束密度, 以调节亮度。加速电压越高, 则电子速度越高, 打在荧光屏上的能量越大, 因而亮度增加。但从前面的分析可知, 加速电压越高, 灵敏度越低。为了解决这一矛盾, 有的示波管在偏转板和荧光屏之间加一后加速电极, 其电位远高于第二阳极。这样, 在不降低示波管偏转灵敏度的情况下, 大大提高了荧光屏上光点的亮度。

当电子束停止轰击后, 荧光粉的发光作用要经过一定时间后才停止, 这段时间叫作余辉时间。一般说来, 观察频率高的周期函数图形时, 所用示波管余辉时间应短些。相反, 研究频率较低的周期性现象及非重复的瞬态现象时, 要求余辉时间较