

电子示波器
各与维修

电子示波器 电路与维修

张国屏



水利电力出版社



77.76
590

电子示波器电路与维修

张 国 屏



水利电力出版社

1111570

内 容 提 要

本书介绍了目前我国生产和科研单位广泛使用的电子示波器的电路原理、使用和维修方法。

全书共分六章。第一章叙述电子示波器的基本原理、单元电路和操作方法。第二、三、四、五章对有代表性的十四种通用示波器，双踪、双线示波器，特殊示波器和专用示波器的电路原理和特点分别作了详细的介绍。为了便于维修，还附有这些示波器的电路图、故障表、管脚对地电压表，有的还列出了管脚对地电阻表。第六章讨论分析查找示波器故障的方法和示波器检修后的校验方法，并列举了130项示波器的检修实例，以供读者参考。

本书可供具有高中或中专文化程度的专业工人和技术人员阅读，也可供院校有关专业的师生参考。

电子示波器电路与维修

张 国 屏

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.5印张 443千字 1插图

1984年4月第一版 1984年4月北京第一次印刷

印数 00001—19430册 定价 2.10元

书号 15143·5325

前 言

随着科学技术的不断发展和生产水平的不断提高，作为重要测试工具的电子示波器，已经广泛地应用到我国国民经济的各个部门。目前，我国的电子示波器，由于生产技术的发展，生产工艺的改进，在质量及技术指标方面均得到较大的提高，生产及使用的数量也急剧增加。为了使电子示波器能更好地发挥测试作用，各部门从事电子示波器使用和维修的有关人员迫切需要一本比较全面、比较系统的介绍电子示波器基本电路、原理及维修方面的书籍，以供借鉴。从这一点出发，作者在已编有关培训资料的基础上，经过反复修改和补充编成本书。

本书以问答的形式介绍了我国生产和应用数量最多的一些有代表性的电子示波器。通过电路分析，可使读者提高阅读电子电路的能力，以便能举一反三地看懂其它常用电子示波器的电路。在此基础上，介绍了电子示波器维修方面的基本知识和分析示波器常见故障的方法，并通过对电子示波器的故障分析和检修实例，可使读者提高分析和判断示波器故障的能力。

本书在编写过程中，得到了很多有关同志的大力支持。这里应特别提到的是机械工业部哈尔滨电工仪表研究所的郭志坚同志，浙江大学的何志均、荆仁杰同志，西北电业管理局电力中心试验研究所的李谦等同志，他们对本书的编写目的、重点和结构等方面都提出了许多宝贵的建议；北京电子显示仪器厂的张承佐等同志审阅了本书，提出了许多宝贵的意见，订正了不妥之处。对以上同志，在此一并表示由衷的感谢。书中所列的检修实例，有的是其他同志在检修工作中所遇到的问题，这里予以整理引用。由于作者水平有限，书中难免有缺点错误，敬希读者批评指正。

.....
作 者

1982年12月

目 录

前 言

第一章 电子示波器的基本原理	1
第一节 示波器的一般介绍	1
第二节 示波器的基本电路	8
第三节 示波器的操作和应用	15
第二章 通用示波器	24
第一节 SB-10(175A)型示波器	24
第二节 SBT-5型同步示波器	33
第三节 SBM-10型多用示波器	49
第三章 多线(多踪)示波器	80
第一节 SBR-1型双线示波器	80
第二节 SBE-7型双踪示波器	102
第三节 SR8型二踪示波器	124
第四节 SR2型四踪示波器	154
第四章 特殊示波器	172
第一节 SQ-12型双踪取样示波器	172
第二节 SBD-1型低频示波器	218
第三节 SB-250型超低频示波器	227
第四节 SBE-6型二踪示波器	231
第五章 专用示波器	239
第一节 JT-1型晶体管特性图示仪	239
第二节 ZTC-5型暂态特性测量仪	262
第三节 CTS-8A型超声波探伤仪	274
第六章 示波器的检修	287
第一节 示波器的故障分析	287
第二节 示波器的校验	294
第三节 示波器检修实例	298

第一章 电子示波器的基本原理

电子示波器又叫阴极射线示波器，简称示波器。它利用示波管将需要观测的电量转换成与其成正比的示波管光点在垂直方向位置的变化，并在水平方向加入与时间成直线性变化的扫描（例如锯齿波）电压，将被测信号均匀展开在示波管的荧光屏上。示波器虽然种类繁多，但它们的基本原理、电路和用途是相似的。一般来讲，示波器包括Y轴放大、扫描电路、X轴放大、电源和示波管电路五大部分。被测信号由Y轴输入端送入，经Y轴放大后加到示波管Y轴偏转板。所以Y轴放大电路决定了示波器的输入阻抗、灵敏度、输入信号范围、频带宽度、脉冲响应等许多重要的技术指标。扫描电路及X轴放大电路主要是用来获得稳定、可调的锯齿波电压，使示波器能适应观测各种频率的被测信号的要求。锯齿波与被测信号必须很好地同步，以便在荧光屏上得到清晰稳定的被观测波形。扫描电路决定了示波器的扫描范围、扫描速度、同步性能等许多重要技术指标。稳压电源和示波管电路，则决定了示波器的亮度、聚焦、亮度调制的性能和各放大、扫描电路的工作性能。对于较高档的示波器，还有时标发生器、比较信号发生器和其他一些辅助电路。

这一章主要讨论一般示波器的基本结构、电路和应用，以便为后面学习各种具体示波器电路打下必要的基础。

第一节 示波器的一般介绍

1-1 什么是电子示波器？

电子示波器是用来观测电压、电流波形的一种电子仪器。凡能变换成电压或电流的其它电量和非电量，也都可以用电子示波器进行观测。因此，在各种生产、试验和科研工作中，电子示波器有着广泛的用途。随着生产和科学技术的不断发展，电子示波器技术也在日新月异地向前发展，而且还出现了多种多样的特殊和专用的示波器。

1-2 示波器有哪些特点？

示波器之所以能广泛地应用到各个部门，主要是由于它具有以下特点：

- 1) 能显示出被测量的波形，以便观测其变化过程和瞬时值。
- 2) 输入阻抗很高，对被测量系统的影响很小。
- 3) 电子射线惰性极小，故可测频率高达几百兆赫甚至更高的信号；也可用它来观测瞬变现象的细微过程和测量极短暂的时间间隔。
- 4) 由于可使用高增益放大器，因而示波器的灵敏度能做得很高，例如可显示微伏级的电压信号。
- 5) 可同时观测和比较几个变化信号，以便确定它们之间的对应关系。
- 6) 各种专用示波器与其相应的变换器配合，可用来观测各种电量或非电量的变化

过程。

1-3 示波器当前发展的主要趋势是什么？

从目前来看，示波器的发展趋势主要有以下几个方面：

- 1) 不断提高示波器的各项技术指标，如提高测量精度、扩大测量范围、加宽频带宽度、提高仪器的稳定性和可靠性等。
- 2) 实现自动化，使仪器操作简便、观察迅速、测量准确。目前，已出现自动控制扫描、增益、同步的示波器，示波器与微处理机相配合，而发展成为具有可编程序、测试数据处理及数字显示的智能示波器。
- 3) 减小体积和重量，努力争取实现平板示波器；实现被测波形的记忆和自动处理。
- 4) 实现一机多用。
- 5) 选出复杂序列脉冲中的任意一个或一段的局部扩展双时基延迟触发扫描技术，近年来已经在国内外的一些较高档宽带示波器中得到普遍的应用。
- 6) 为适应电子计算机及其它数字逻辑电路的迅速发展，新型的数字示波器正在高速发展，在国外其年产值与一般模拟电路示波器不相上下。预计，不出数年将超出模拟电路示波器。
- 7) 大量涌现出各种专用或特殊用途的示波器，以满足国民经济各部门及科学研究各个领域的不同需要。

1-4 示波器电路的主要组成部分是哪些？各有什么作用？

示波器电路通常由示波管及其附属电路、垂直放大电路、水平放大电路、扫描电路和电源电路几个主要部分组成。其电路的结构示意图如图 1-1-1 所示。示波管是将放大的被测信号转变成光信号的必不可少的部件；其附属电路能使示波管正常工作，并可对光点进行亮度、聚焦等调节。垂直放大（又称 Y 轴放大）电路将被测信号放大后送至示波管的垂直偏转板，使光点沿垂直方向移动的距离正比于被观测信号的幅值。水平放大（又称 X 轴放大）电路将扫描电路产生的作时基信号用的锯齿波电压放大后送至示波管水平偏转板，使光点在一段时间内沿水平方向匀速移动。电源电路是为了使各部分电路能正常工作而设置的。这样，就可以在示波管荧光屏上显示出被测信号的波形。

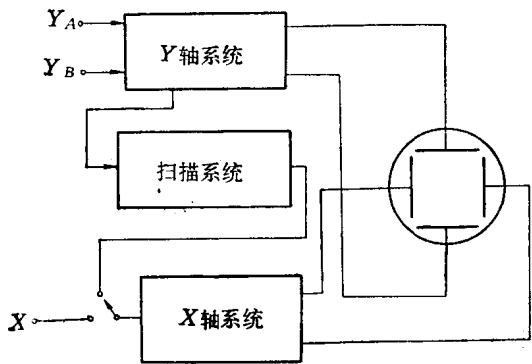


图 1-1-1 示波器电路的结构示意图

的被测信号转变成光信号的必不可少的部件；其附属电路能使示波管正常工作，并可对光点进行亮度、聚焦等调节。垂直放大（又称 Y 轴放大）电路将被测信号放大后送至示波管的垂直偏转板，使光点沿垂直方向移动的距离正比于被观测信号的幅值。水平放大（又称 X 轴放大）电路将扫描电路产生的作时基信号用的锯齿波电压放大后送至示波管水平偏转板，使光点在一段时间内沿水平方向匀速移动。电源电路是为了使各部分电路能正常工作而设置的。

1-5 常用示波器有哪些类别？

示波器的分类方式很多。根据示波管余辉时间的长短，可分为长余辉示波器和短余辉示波器。根据显示被测信号的数目，可分为单线示波器，双线、双踪和多线、多踪示波器。根据被测信号频率上限的高低，可分为宽带和低频示波器。根据扫描信号的性质，可分为慢扫描、连续扫描和单次扫描示波器。根据示波器的用途，可分为通用、特殊和专用

示波器。另外，还可以根据扫描波的形状、有无记忆功能、示波管的大小及所用元件的不同来划分示波器的种类。通常用得最多的几种示波器为：

1) 脉冲示波器：它是用来观测脉冲信号波形的示波器。其主要特点是具有触发扫描功能。随着示波器技术的发展，目前大多数示波器都已具有观测脉冲信号的能力，故这一名称已逐渐为通用示波器所取代。如SBT-5、SBJ-1、SBM-1、SBM-3、SBM-9、SBM-10、SBM-64、SR8、SR20、SR22、SR49、SD13等型的示波器，均可视为脉冲示波器。

2) 双线示波器：是利用双枪示波管或单枪双束示波管同时显示两个被测信号波形的示波器。它具有两套独立的垂直放大电路和两套（或一套）水平放大电路，可以同时观测两个快速单次瞬变信号。国产SBD-6、SB-11、SD-5等均属于这类示波器。

3) 双踪示波器：是采用单枪示波管，利用电子开关使其能够同时观测两个信号波形的示波器。它与通用示波器的区别在于多了一个电子开关和一个垂直放大电路。国产SBR-1、SR8、SDE-250、SBE-20、SBE-7等均属于双踪示波器。此外，还有SR2型四踪示波器；SBS-2型双线四踪示波器。现在还有很多双踪示波器由于采用了I、II通道交替触发技术，可以同时观测两个在时间上不相关的信号，所以完全替代了结构较复杂及成本比较高的双线示波器，例如SR49、SR52、SD13等宽带双踪示波器。

4) 慢扫描示波器：它是用来专门观测和记录各种低频信号或变化缓慢的直流信号的示波器。由于这类示波器中的扫描频率可低达百分之几赫甚至更低，所以通常称为慢扫描示波器或超低频示波器。它除了要求具有慢扫描能力外，还必须要求示波管荧光屏为长余辉材料制做的，垂直放大器应有很好的低频特性。国产慢扫描示波器种类很多，如SB-250、SBD-1、SB-14（单线）、SBD-6、SDE-250（双踪）型等。

5) 取样示波器：在信号的每一个周期内，屏幕上显示出一个取样点；每经一个周期，取样点都向前推进一段。其结果，与光学频闪观测器再现图形一样，是由一系列逐步推移的取样点把信号再现出来。用这种原理制成的示波器，称为取样示波器。国产取样示波器有SQ-2、SQ-5、SQ-12、SQ-15、SQ-19型等。

6) 高压示波器：是用来观测和记录高压设备特性的一种特殊示波器。这种示波器必须具有非常快的记录速度、严格的同步扫描、高亮度的示波管和能自动拍照等特殊功能。国产高压示波器有SX-1、SBGM-1、GSB-1、SBE-6型等。

7) 行波示波器：是一种采用行波示波管的示波器，它往往没有垂直放大系统。由于被测信号直接加至示波管的垂直偏转板，故示波器的带宽和偏转灵敏度均取决于示波管本身的截止频率和垂直偏转灵敏度。因此，这种示波器的偏转灵敏度都很低；有效工作面很小；屏幕上的波形用人眼难以观测，通常要用照相拍摄放大后才能进行分析。这种示波器仅适用于观测快速、大幅度的单次脉冲信号。如国产的SX-1型行波示波器可以观测频率从0~1000MHz的信号。

8) 数字示波器：凡是采用数字电路或数字显示技术的示波器，都可称为数字示波器。它一般具有以下几种意义中的一种：①在用示波管显示被测波形的同时，可采用数字显示方式读取一些定标值（如扫描速度、垂直偏转灵敏度等）；②在用示波管显示被测波形的同时，可用数字显示方式读取某些测量结果（如脉冲上升时间、脉冲宽度等），并具

有数字编码输出；③应用数字电路将被测模拟信号进行处理，再经数/模变换后，以模拟形式显示在示波管屏幕上；④具有计算功能的示波器，它通常由示波器和微处理机结合而成。在显示波形的同时，还可将经微处理机处理的信息以字符形式显示在示波器屏幕上，如国产SQ2型即为数字化取样示波器。

9) 记忆示波器：是具有记忆功能的示波器。实现记忆的方法目前有两种：一种是用记忆示波管；另一种是采用取样技术、数字技术和存储器，将经过处理的信号显示在示波管上。前者频带较宽，后者记忆能力较好。

1-6 示波管是由哪几个部分组成的？

示波管是示波器的主要元件，其结构示意图如图1-1-2所示。它由以下几个部分构成：

1) 电子束产生系统，又称电子枪，是用来产生高速电子束的。它包括灯丝、阴极、

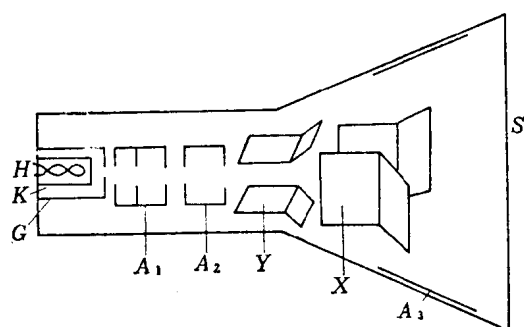


图 1-1-2 示波管的结构示意图

H—灯丝，K—阴极，G—控制栅极，A₁—聚焦阳极，
A₂—加速阳极，Y—垂直偏转板，X—水平偏转板，
A₃—后加速阳极，S—荧光屏

控制栅极和阳极。阴极是发射电子的；栅极能控制电子通过的数量，从而可达到控制亮度（辉度）的目的；阳极能使电子束加速和聚焦。在示波管中，栅极和阳极上都有一个小孔，以便使电子从孔中穿过形成电子束。

2) 聚焦系统，又称聚焦阳极，能使电子束聚焦。它包括聚焦极和散焦极。聚焦极可调节示波管内电子透镜作用的大小，使荧光屏上光斑聚成一小点，示波器的聚焦调节就是调节这个电极电位的。散

焦极可保证无论光点在屏幕的什么位置，都能使其尽可能地接近圆形，即它可修正聚焦透镜的象差。

3) 偏转系统，又称偏转板。它可用来改变电子束的偏转距离，从而达到调节荧光屏上光点位置的目的。偏转系统有X轴（水平）和Y轴（垂直）两组，以便使荧光屏上光点的运动轨迹反映出X轴和Y轴合成信号的变化规律。偏转系统又可分为磁偏转和静电偏转两种。磁偏转能使电子束有较大的偏转角，适用于低频（20kHz以下）；静电偏转有高的偏转速度，适用于高频。

4) 加速系统，又称加速电极。由于它是通过改变空间电位来控制电子束速度的，因此该系统对写出速度或在快速偏转时的电子束亮度影响很大。此外，后加速系统还有改善聚焦的作用。

5) 荧光屏，有时简称为“屏幕”或“屏”。它可将电子束轨迹转变成相应的光信号。当从电子枪经偏转系统和加速系统来的电子束轰击荧光屏上的磷光物质时，被电子轰击的磷光物质就产生荧光或光辐射，这样便可将被测电信号变成可见的光点位移信号。

不同的磷光物质，其磷光的余辉时间和颜色都有很大的差别。据此，磷光物质可分为短余辉、中余辉、长余辉三种。不同磷光物质可发出不同波长的光谱，使各种磷光的颜色有一定的差别。在选择示波管时，这一点是很重要的。如人眼对黄-绿区（ $\approx 5500\text{\AA}$ ）最

敏感；照相胶卷则对紫外线及兰光最敏感。

1-7 何谓示波管的余辉时间？它对示波器有什么影响？

当电子束停止射击荧光屏后，荧光屏的磷光物质持续发光的时间，称为示波管的余辉时间。它一般定义为当光点亮度衰减到产生光晕前亮度的1%时的一段时间，是荧光屏重要的技术指标之一。这里所说的光晕是指由于杂散放射而使荧光屏光点周围出现的一个环形光亮区域的现象。余辉时间决定了示波器的基本特性和应用范围，其时间的长短由荧光屏材料决定。

1-8 我国示波管的型号是怎样命名的？

我国示波管型号命名分为四个部分：第一部分为数字，表示荧光屏的直径或对角线长的厘米数。第二部分为两个汉语拼音字母：“SJ”为静电偏转的示波管，“SS”为磁偏转的示波管。第三部分为试制序号。第四部分是英文字母，表示荧光屏的特性。例如，8SJ30、5SJ38、13SJ36、13SJ37、13SJ38J、13SJ54A型示波管等。

1-9 示波器是怎样工作的？

示波器是借助于示波管将被观测的电信号转变成为相应的、可以用肉眼看到的光点运动轨迹。其原理可用以下数学式表示，即

$$Y = K_Y U_Y \quad (1-1-1)$$

$$X = K_X U_X \quad (1-1-2)$$

式中 Y 、 X ——分别为光点沿荧光屏垂直方向和水平方向移动的距离；

K_Y 、 K_X ——分别为示波管的垂直方向和水平方向偏转因数；

U_Y 、 U_X ——分别为加在示波管垂直偏转板和水平偏转板上的电压。

对于足够大的被观测电压信号 U_Y ，可以直接从示波器背板加入；对于较小的被观测信号，则必须经由垂直放大电路放大后再加至垂直偏转板。（1-1-1）式说明光点沿荧光屏垂直方向偏转的距离与被观测信号 U_Y 的幅度成正比；（1-1-2）式说明光点沿荧光屏水平方向偏转的距离与 U_X 成正比。当 U_X 为一与时间成直线关系的锯齿波电压时，光点沿水平方向移动的速度是均匀的，将 U_Y 均匀展开，结果便可在荧光屏上看到 U_Y 的波形。其波形显示情况可由图1-1-3(a)~(d)看出。

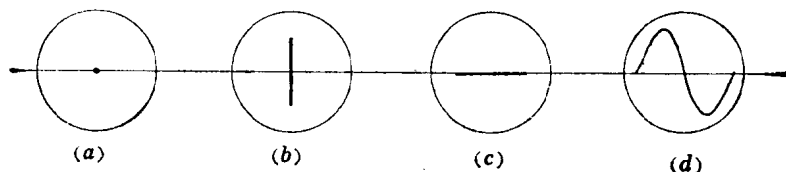


图 1-1-3 示波器的合成波形图

(a) $U_Y = 0$, $U_X = 0$; (b) $U_Y \neq 0$, $U_X = 0$; (c) $U_Y = 0$, $U_X \neq 0$; (d) U_Y 正弦波, U_X 锯齿波

1-10 示波器的主要技术指标有哪些？

示波器的技术指标是用来表示示波器技术性能的。一般来讲，示波器有以下一些主要的技术指标：输入阻抗、偏转因数（或偏转灵敏度）、频带宽度、扫描范围。对于特殊示波器和专用示波器，还有一些其它的技术指标。以上通用的技术指标，具体到不同用途、

不同类型的示波器，还有不同的侧重要求。

1-11 何谓示波器的偏转因数？

示波器的偏转因数又称示波器的灵敏度。它表示在荧光屏的有效面内，示波器对单位被观测信号电压所引起的电子射线偏转距离的大小，其单位为厘米/伏、厘米/毫伏或者格/伏、格/毫伏。在有些示波器中，还用伏/厘米、伏/格等单位表示其灵敏度。根据电子工业部示波器标准规定，应该用厘米/伏、格/伏等作为示波器偏转因数的单位。

1-12 示波器输入端最高允许电压受什么限制？

一般将示波器垂直输入端加入的最大允许电压称为示波器的最大允许输入电压。它主要受垂直放大器输入端衰减器所用元件(如分压电阻的功率损耗和输入电容的耐压程度等)的限制，当不用衰减器时，这个电压主要是受垂直放大电路输入端隔直电容耐压程度的限制(交流放大电路)；或者受放大电路输入级放大元件耐压程度的限制(直流放大电路)。对于一般示波器来说，垂直输入端的最大允许电压可在250V左右。当大于250V时，建议从示波器背板直接加至示波管偏转板，或经外接分压器后再加至Y轴输入端。

1-13 何谓示波器的频带宽度？它主要由哪些因素决定的？

频带宽度又称为频率响应。它是指示波器所能观测到的上限和下限频率之间所占频带的宽度。对于一个示波管，它的频带宽度取决于电子束经偏转系统的渡越时间、偏转系统的分布电容和引线分布电感；对于一台示波器，它的频带宽度主要取决于垂直放大电路的频带宽度。为了扩展示波器的频带宽度，很多示波器垂直放大电路中都采用了高、低频补偿网络、多级差动负反馈放大电路和其它扩展频率的措施。至于一般示波器的水平放大电路，多用直接耦合放大电路，它的上限频率只要适应最高扫描信号频率即可。

1-14 何谓示波器的输入阻抗？它主要由哪些因素决定的？

示波器的输入阻抗是指示波器垂直放大电路的输入阻抗。它是垂直放大电路输入端的直流电阻和电容的并联阻抗。为了减少示波器对被测电路的影响，要求示波器具有高输入阻抗。对于一般示波器，其输入阻抗为1兆欧电阻和几十微微法的电容并联；但对于取样示波器，其输入阻抗一般为100千欧电阻和几微微法的电容并联。有的示波器为了适应各种不同测试目的的需要，还专门设有几十欧姆的低阻抗输入端。

1-15 有的示波器为什么还要设有低阻抗输入端？

一般示波器都是高阻抗输入，以减少它们对于被测电路的影响。但这个阻抗并不是恒定不变的，对于不同频率的输入信号，它有不同的数值。随着输入信号频率的升高，输入阻抗将迅速降低，因此同一衰减档级对于信号各不同频率成分的分压作用是不同的。这种情况特别是对于用示波器观测低输出阻抗的信号时更为明显。为此，必须用与信号源输出阻抗相匹配的低阻抗同轴电缆连接，而且要求示波器垂直输入端的输入阻抗要与之相匹配。如对输出阻抗为50、75、93或125 Ω 的信号进行观测时，要求用相同特性阻抗的同轴电缆将信号引至示波器的垂直输入端，而且要求示波器垂直输入端的输入阻抗也应与这些阻抗相等，这样才可避免由于高频失真而使被观测信号的波形发生畸变。因此，有的示波器除了高阻抗输入端外，还另设有低阻抗输入端，如SBT-5型示波器就设有75欧的低阻抗输入端。

1-16 何谓扫描？

对一般电子示波器而言，光点在示波管荧光屏上沿水平方向以一定速率从左到右，再迅速从右到左返回起始点，从而描绘出一条光迹的往返运动过程称为扫描。光点从左到右运动的过程，称为扫描正行程（正程或正扫）；从右到左运动的过程，称为扫描逆行程（逆程或回扫）。扫描是通过把扫描发生器（或称扫描电路）所产生的线性锯齿波电压加到示波器水平偏转系统来实现的。光点在荧光屏上沿水平方向由左向右移动单位长度所需的时间，称为扫描时间因数，一般以时间/厘米或时间/格表示。虽然它说明了扫描速度的大小，但严格地说，扫描速度是以厘米/时间或格/时间为单位的。例如，SBM-10 型多用示波器的扫描时间因数为 $0.05\mu\text{S}/\text{cm}$ ，按 1—2—5 进制分档，精度为 $\pm 5\%$ 。扫描时间因数确定后，就可以在荧光屏的水平轴上直接读出被测波形的时间参量。为了对被观测信号波形的某一部分进行仔细地观测（如确定上升很快的脉冲波形的前沿时间），必须加快扫描速度，使被测信号波形沿荧光屏水平方向成倍展宽，这种方式称为扫描扩展。经过扫描扩展后，荧光屏上所显示信号波形的亮度将有所下降，这是正常现象。

1-17 何谓扫描非线性？它对示波器有什么影响？

扫描非线性是指在扫描电压的正行程中，电压增长速度的不恒定性，一般用扫描电压非线性系数来表示。一般示波器加至水平偏转板的扫描电压非线性系数约为 $3\sim 10\%$ ；较高档示波器的扫描非线性系数在 3% 以下。

扫描电压非线性的影响如图 1-1-4 所示。由此可知，当加至水平偏转板的扫描电压非线性严重时，将使荧光屏上所显示的波形产生严重的失真。

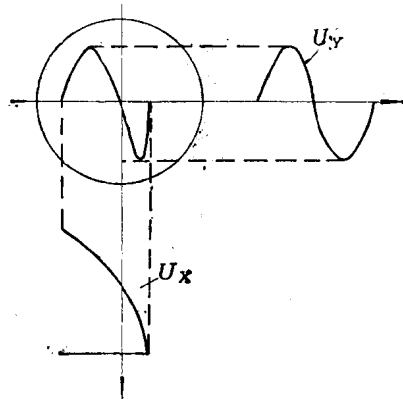


图 1-1-4 扫描电压非线性的影响图

1-18 何谓扫描逆行程？它有什么影响？

对于理想的锯齿波，其回扫时间为零。但是，实际上它不可能完全为零。我们希望加在水平偏转板上扫描电压的逆行程越短越好；否则，将出现回扫线；严重时，它将干扰被测波形的显示。为了消除回扫线，一般示波器中加有消隐电路，使电子束在回扫期间被比较低的示波管栅极电压所截断，在荧光屏上就不会出现回扫线。

1-19 何谓示波器的扫描范围？它由哪些因素决定的？

示波器的扫描范围，是指该示波器扫描电路所产生的、由扫描档级开关调节的锯齿波的频率范围。对于具有触发功能的示波器，其扫描范围是指由扫描档级开关调节的扫描速度的变化范围。示波器种类不同，扫描范围也不相同，它主要是由扫描电路结构、充放电电路时间常数、释抑电路参数等决定的。

1-20 何谓连续扫描？何谓触发扫描？

示波器接通电源后，即能输出具有一定幅度和周期的连续扫描信号的扫描方式，称为连续扫描。一般示波器都有连续扫描功能。但这种方式不能观测非周期信号。目前，国产示波器已大都采用触发扫描的工作方式。只有当触发信号加入时，扫描电路才有扫描信号

输出的工作方式，称为触发扫描。当触发信号加入后，示波器即开始扫描，光点也开始移动，二者是严格同步的。这种工作方式适于观测周期不稳定的重复信号和各种非周期信号。根据触发信号来源的不同，触发方式可分为内触发、外触发和电源触发三种。从垂直系统中取出被观测信号的一部分，经变换后作为触发信号去触发扫描电路的触发方式，称为“内触发”，这是示波器中最常使用的一种触发方式。为了使用方便起见，有的示波器还从垂直系统的两个不同位置取出两个相位相反的被测信号，并经变换后再去触发扫描电路，或将触发信号输入至触发差动放大器的不同输入端，故内触发还有“内+”和“内-”之分。触发信号由示波器外部引入，经变换后去触发扫描电路的触发方式，称为“外触发”。外加触发信号可以是被测信号，也可以是与被测信号有固定时间关系的其它信号。有的示波器也有“外+”和“外-”之分。这种外触发工作方式，在示波器中也经常应用。触发信号取自供电给示波器的50Hz工频电源（市电），经变换后来触发扫描电路的触发方式称为“电源触发”。当输入信号在时间上与市电频率有关时，或者输入信号为含有市电频率分量的复合信号时，适于采用这种触发方式；否则，一般很少采用，而多用内触发或外触发工作方式。

第二节 示波器的基本电路

1-21 怎样看示波器电路图？

示波器是一种电路比较复杂的电子仪器。看示波器电路图也和看其它电子仪器电路图一样，只要具备基本的电子线路知识，并遵循共同的阅图步骤，示波器电路图也是不难看懂的。阅读电子线路的步骤是：局部——整体——个体。首先，将电路中对应于示波器方框图的单元电路部位找出来，即Y轴系统、触发扫描系统、X轴系统、示波管电路和电源电路，这就完成了寻找“局部”的工作。然后，将这些局部电路根据示波器整体方框图的路线寻找出它们之间的联接关系，从而确定整体电路概念。这一步的重点，是寻出被测信号在Y轴系统中的传输过程、触发扫描的产生和在X轴系统中的传输过程。第三步才具体到各个元件的作用，如Y轴系统中的输入选择、平衡、位移、增幅、负反馈电路；触发扫描系统中的触发选择、扫描产生过程、扫描范围的控制、非线性改进等电路；X轴系统中的输入选择、平衡、位移、增幅电路；示波管电路中的增辉、抹迹、调辉、聚焦、亮度平衡等电路；电源电路中的高频高压振荡、高频高压自动调整、低压稳压等电路。还可以根据实际情况和需要，更仔细地去分析电路中每个元件的作用。这样经过一段时间的反复练习，阅读示波器电路的能力是会很快提高的。

1-22 对示波器的垂直放大电路有哪些要求？

示波器应用的场合不同，对它们的垂直放大电路的要求也不相同。垂直放大电路直接决定了示波器垂直偏转系统的灵敏度、频带宽度、输入阻抗。因此，要求垂直放大电路输入阻抗高（有些还要求具有一些特定的低输入阻抗）、增益高、非线性失真小，输出对称，并且要求频带宽度合适。脉冲示波器要求放大电路对瞬变现象具有很好的响应特性，慢扫描示波器要求放大电路对低频信号以至直流信号有很好的响应特性；而对一般的通用

示波器,则要求放大电路能适应该示波器的具体要求。为了方便,要求垂直放大电路的增益、对称输出端相对直流电位均可连续调节,以达到沿垂直方向随意调节波形大小和位置的目的。

1-23 示波器垂直放大电路有哪些基本类型?

示波器类别不同,它们的垂直放大电路的具体结构也不同。就其工作原理来说,用得最普遍的归纳起来有两类:①交流放大电路:它们有阻抗变换、延时、高低频补偿、增益控制、倒相电路和双端输入、双端输出的差动放大电路。为了改善放大器的性能,还引入了很多负反馈电路。这种型式的放大系统在一般早期出产的通用示波器、同步示波器(如SB-10(175A)、SBT-5、SBM-1型)中用得较多。②直流放大电路:它们虽然也有阻抗变换、延时、高低频补偿、增益控制等单元电路,但是从输入的第一级至最末级都是采用差动放大电路,而且除第一级可以采用单端或者双端输入及双端输出的差动放大电路外,其余各级都采用了双端输入、双端输出的差动放大电路;并且也引入了很多负反馈电路,以改善放大器的性能。为了调节两垂直偏转板间相对的直流电位,以改变荧光屏上波形的位置,在放大电路中设立了位移调节电路。目前,国内生产的各种通用示波器(如SBE-20、SBR-1、SBM-10、SR8、SR2、SR62等型的)基本上都已采用这种形式的放大电路。

1-24 有的示波器垂直放大电路中加有延迟线或延迟电路,其作用是什么?

当扫描发生器的触发信号取自被测信号时,由于被测信号经触发整形及闸门等脉冲变换后才使扫描电路开始产生锯齿波电压,也就是说,扫描电路的起始点比被测信号起始点要晚一段时间。因此,在不考虑后面电路延时特性的情况下,到达水平偏转板上的锯齿波电压的起始点总要比到达示波管垂直偏转板上的被测信号电压的起始点晚,如果被测信号是具有起始点突变的脉冲波时,就有可能观察不到这一突变的起始波形。为此,我们可将被测信号先经延迟线或延迟电路延时,而使内触发信号取自延迟线之前,这样就可保证扫描波超前于被测方波到达示波管偏转系统,被测信号前沿的突变情况便可在示波器荧光屏上显现出来而不至于被切去。

1-25 对示波器水平放大电路有哪些要求?

为了将扫描电路所产生的锯齿波电压信号予以不失真地放大至满足示波管水平偏转板灵敏度的要求,示波器采用了水平放大电路。对水平放大电路的主要要求是,放大倍数、频率响应特性能够适应示波器扫描范围的需要,而且要求电路的非线性失真小,有对称输出。为了方便,要求水平放大电路的增益和对称输出端相对直流电位均可连续调节,以达到沿水平方向随意调节波形大小和位置的目的。一般来讲,同一台示波器中水平放大电路的指标都相应地低于垂直放大电路的各项指标。

1-26 示波器中差动放大电路是怎样工作的?

示波器的垂直和水平放大电路中,大量使用了电子管或晶体管差动放大电路。这种电路一般有两个输入端、两个输出端。两输入信号之差为电路的输入信号;两管阳极(或集电极)输出电压之差为电路的输出信号。由于两管及电路对称,元件参数也全部对称,因而电源电压的变化和管子温度的不稳定性均不会在其输出端引起漂移。所以,这种电路的

零点漂移小、稳定性高。为了观测直流信号，目前国产大部分示波器都采用这种平衡式直流差动放大电路。这种电路级间是直接耦合的，它可以做到在保证足够稳定度的情况下得到足够大的放大倍数。在示波器的具体电路中，随着应用场合的不同，有时它是单端输入，有时则为对称双端输入；而其输出则是采用双端对称输出，以便保证示波管有最好的工作状态。在单端输入、对称输出的差动放大电路中，输入信号加在一个管子的输入端，而另一个管子的输入信号是取自两管共用的阴极（射极）电阻，故又称为阴极（射极）耦合放大电路。这种耦合方式输入的信号极性正好与加到单端差动电路输入端被放大信号的极性相反。为了使两者在数值上相等，阴极（射极）电路中的信号取样电阻必须有一定的数值。这个数值不一定正好满足静态工作点的要求，故在具体的示波器阴极（射极）耦合电路中，信号取样电阻仅仅是静态偏置电阻的一部分。

1-27 示波器扫描电路有哪些常用的形式？

示波器扫描电路的选择，取决于对扫描范围、触发方式、线性度等的要求。不论是电子管扫描电路还是晶体管扫描电路，就其结构原理来说，最常用的有：①恒流充电的扫描电路：这种电路结构简单、工作可靠，适用于快速扫描的示波器中，是目前用得较多的一种扫描电路；②密勒积分扫描电路；③自举扫描电路。后面两种扫描电路，是利用负反馈和引入补偿电源，使电容器充（放）电电流恒定，而达到改善扫描非线性目的的。所以，这两种电路虽然结构比较复杂，但它们可以得到较理想的锯齿波电压。目前，在国产的大部分示波器中，都是采用这两种形式的扫描电路。

1-28 连续扫描与触发扫描有什么区别？

连续扫描是由连续扫描闸门电路控制的扫描电路，它不用外加触发信号即可自行产生连续扫描电压。触发扫描是由触发扫描闸门电路控制的扫描电路，它必须用外加触发信号控制扫描闸门，然后由它所产生的闸门信号去控制扫描发生器而产生扫描电压。目前，一般国产通用示波器几乎都具有连续扫描和触发扫描两种功能。

1-29 触发扫描电平调节有什么作用？

当示波器工作在触发扫描状态时，触发信号放大整形电路输入端，除了加有从被测信号（内+、内-），工频电源（电源+、电源-）或外部触发电路（外+、外-）来的触发信号外，还加有从电平调节电位器引来的大小可变的一直流电压信号。它与触发信号共同作用于触发整形放大电路的输入端，以便根据触发信号的大小来调整该电平的调节旋钮，而达到不论触发信号是强还是弱都可稳定地触发整形电路，以获得稳定的扫描电压。如果不设电平调节电路，当触发信号很微弱时，就可能触发不了整形电路，从而不能触发扫描电路进行工作。

1-30 触发扫描电路中的释抑电路有什么作用？

示波器工作在触发扫描状态时，在扫描的正行程内，释抑电路的释抑电容充电，其充电时间常数很小，而在扫描的逆行程（即回扫）期间，释抑电容经另一较大的电阻放电，放电时间常数较大。将这一放电电压引至扫描闸门电路的输入端，使扫描闸门电路在回扫期间能可靠地闭锁，不至被触发整形来的触发脉冲再次触发扫描，这就保证了扫描电路能稳定地工作。这个使扫描闸门在回扫期间可靠闭锁的辅助电路，称为释抑电路。这一闭锁

作用一直要到释抑电容放电基本结束而不再能够完全闭锁扫描闸门为止。此后，扫描闸门又处于等待状态，一旦有一个从触发放大整形电路来的触发信号时，它将再次打开，又形成一次扫描。释抑电容的容量是与扫描电容的容量相适应的，这点应当特别注意。

1-31 有的示波器中为什么要设立扫描扩展电路？

扫描扩展是利用加快扫描速度将被观测信号沿水平方向扩展若干倍的技术。扩展倍数就是扫描速度加快的倍数。这种技术主要是用来对被观测对象的某一区间进行仔细观察和分析的，例如仔细观察脉冲波形上升和下降期间的细微过程等。加快扫描速度的简单办法，是成倍地提高水平放大电路的放大倍数。扫描速度成倍增加，荧光屏所显信号的波形亮度将相应的有所降低，这是正常现象。

1-32 示波器中的“同步”有什么作用？

由示波器原理可知，只有在锯齿波与被观测信号严格同步时，荧光屏上才能显现出稳定的波形。这就要求锯齿波的周期（频率）与被观测信号的周期（频率）相等或成整数倍关系，即锯齿波与被观测信号间应保持“同步”关系。但在实际情况下，即使被测信号的频率极为稳定，但由于电路受元件参数及电源电压等变化的影响，锯齿波频率总会有所改变的。为了始终能保持锯齿波和被测信号间的同步关系，除了人为的手动调节扫描电压外，更重要的是要引入同步电路。可调同步电压叠加在触发电平上，未加入同步电压时，扫描周期与同步电压周期不成整数倍关系；加入同步电压后，就可使两者成整数倍关系，即保持了严格的“同步”。根据同步电压来源的不同，可将同步信号分为内同步、外同步和电源同步三种。其中的内同步信号，是从被观测信号内部引出的；外同步信号，是从示波器外部引入的，该信号是一与被观测信号周期严格成倍数关系的同步信号；电源同步信号，是从50Hz交流电网中取得的。

值得指出的是，在触发扫描情况下由于扫描电压的起始点在时间上总是与触发脉冲一致的，因而保证了扫描电压与被观测信号电压之间严格的同步关系。因此，目前国产示波器中大都采用了这种工作方式。

1-33 简单的扫描电路是怎样构成的？

简单扫描电路的基本结构，如图1-2-1所示。当控制栅极未加上幅度足够的方波信号 u_i 时，开关管G截止， E_a 经 R_a 对电容器C充电，此按指数规律上升的电压即可近似地视为扫描电压。当方波正跳变时，开关管G立即饱和导通，电容器C经G放电。由于管子饱和，放电回路电阻很小，放电进行得很快，这就形成了扫描的逆行程。只要方波信号是连续的，输出端所得到的扫描波也是连续的。同步信号或触发信号加在开关管控制栅极上，从而可以直接控制管子开始导电的时间，也就控制了扫描开始的时刻。扫描速度可由改变电容器充电回路的时间常数来控制。扫描幅度由电源电压 E_a 和方波宽度来控制。

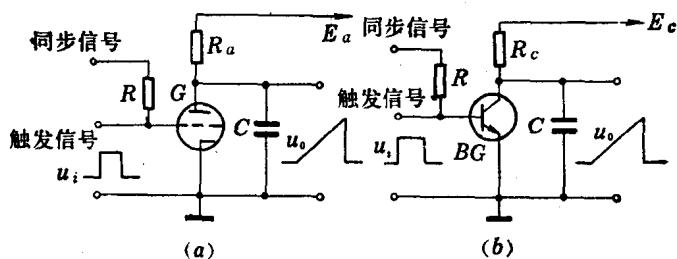


图 1-2-1 简单扫描电路的基本结构图

(a) 电子管电路；(b) 晶体管电路

扫描频率与方波控制信号频率相同。对于图1-2-1(b)所示的晶体管扫描电路, 不难作出类似的推论。

1-34 怎样改善扫描的非线性?

由前已知, 为了在荧光屏上得到不失真的被观测信号的波形, 除了要求垂直放大电路有很高的技术性能以外, 还要求扫描电压的正行程具有很好的线性度, 即它的非线性失真要小。但在 RC 电路中, 由于电容器两端的电压将随充电(或放电)电流的变化而成指数规律变化, 因而非线性失真很大。如果在充电(或放电)过程中, 充电(或放电)电流为恒定值, 则电容器两端的电压变化规律将为

$$U_C = \frac{I}{C} t$$

即 U_C 与 t 呈线性关系。因此, 设法对扫描电容器进行恒流充电(或放电)是各种改善扫描非线性方法的根本出发点。例如, 在晶体管示波器中, 图1-2-2所示为开关管控制的恒流充电扫描电路, 这是一种最基本的改善扫描非线性的方法。图中, C

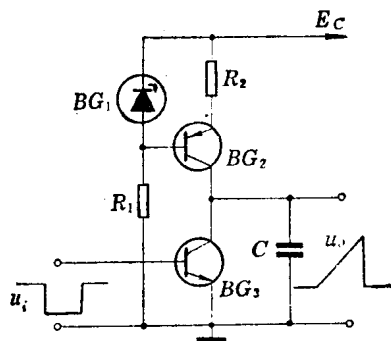


图 1-2-2 开关管控制的恒流充电扫描电路图

为扫描电容器; BG_2 为恒流管, 它的工作点由稳压管 BG_1 予以稳定; BG_3 为开关管, 它由输入方波控制。当负方波输入时, BG_3 关闭, 电容 C 由 BG_2 提供的恒定电流充电而输出扫描电压。负方波消失后, BG_3 导通, 电容 C 经 BG_3 很快放电, 形成扫描的逆行程。

1-35 怎样降低回扫时间的影响?

为了能用示波器观测到完整稳定的被测信号波形, 要求扫描电压的逆行程(回扫时间)越短越好。为了降低回扫时间对荧光屏所显波形的影响, 可以从两个方面采取措施: 一是采用消影(抹迹)电路, 即在回扫期间有一负电压加至示波管的控制栅极, 使电子束被阻拦, 这样, 在荧光屏上将看不到由于存在回扫期而产生的回扫线; 二是在扫描电路上采取措施, 使扫描电容器在回扫期间加速放电。在一般的示波器中, 这两种方法是结合采用的。

1-36 何谓密勒扫描电路?

密勒扫描电路属电容负反馈扫描电路。电路的基本结构如图1-2-3所示。图中 E_g 不能

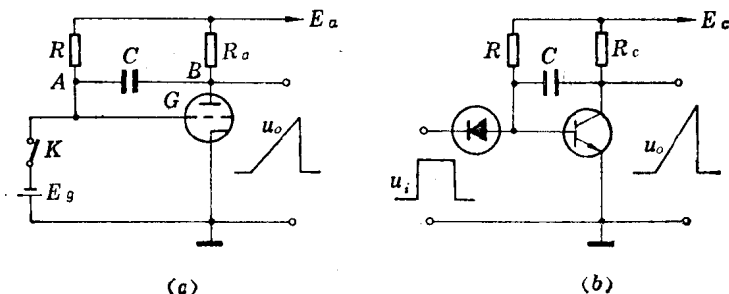


图 1-2-3 密勒扫描电路图
(a) 电子管电路; (b) 晶体管电路