

示波器的测量 和扩展应用

左育春 编著

机械工业出版社

示波器的测量和扩展应用

左育春 编著



机械工业出版社

本书介绍了示波器的测量和扩展应用电路。第一章介绍如何使用示波器,使读者首先对示波器的性能和重要技术参数有必要的了解。从第二章到第九章,书中列举了100多个实验测试电路,读者运用其中一些测量方法,就能使示波器发挥更大的作用。有些附加电路需要读者亲手制作,以便使示波器功能得到扩展。

本书可供示波器的使用人员及工程技术人员参考。

示波器的测量和扩展应用

左育春 编著

*

责任编辑:边 萌 版式设计:张世琴

封面设计:郭景云 责任校对:陈立耘

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{3}{4}$ · 字数 124 千字

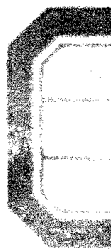
1990年6月北京第一版·1990年6月北京第一次印刷

印数 0,001—2,900 · 定价:4.70元

*

科技新书目: 217—004

ISBN 7-111-01952-0/TM·267



前言

在科学技术的应用领域中，示波器的使用范围是相当广泛的，它可以说是一个万能的通用仪器，几乎任何电子测量都可以用示波器显示结果。即使是非电子测量，经过传感器或有关电路变换后，也可以用示波器观察。

本书介绍示波器的测量和扩展应用电路，其目的并不仅仅是让读者按照书中要求的方法去测试，更重要的是希望读者自己能够触类旁通、举一反三，开创更广泛的示波器测量和扩展应用的领域，使示波器为科学技术的发展发挥更大的作用。

本书的内容，主要来源于编者多年的实验室工作经验的积累，并参考了大量美国、日本和我国示波器测量书籍、示波器使用说明书，还从电子学报刊中收集了重要测试数据。在示波器检测电视机这一章中，参考了有关电视机原理的书籍。

本书的测试电路图都以简单的形式画出。例如示波器面板仅画出三个外端接线柱，其中一端为垂直输入轴 Y_A ，另一端为垂直输入轴 Y_B 或水平输入轴 X （图中将具体标出是 Y_B 轴还是 X 轴），还有一端是接地端，对 Y 轴和 X 轴是公共的。图中还将探头实体图省略，以直接耦合的形式画出。对于是否衰减，文中作了说明或由读者从实验中分析出。其它测量仪器的面板调节旋钮和刻度盘等，图中也未画出，这样使电路图既简单清晰，又不影响实际测试引线的连接。

波形图如不是定量测试，一般以示意图画出。

虽然编写此书花费了不少心血，但由于编者的知识与写作水平有限，难免有缺点，甚至有遗漏和谬误之处，恳请专家和读者指正。

本书在编写过程中得到我院董知其和吴小平工程师的大力支持和帮助，特在此表示衷心的感谢。

编者

1987年8月

于西北电讯工程学院

目 录

前言

第一章 如何使用示波器	1
一、了解示波器的性能	1
二、示波器屏幕刻度和面板开关	3
三、示波器的组成框图	5
四、什么叫做扫描	6
五、连续扫描	9
六、触发扫描	11
七、示波器探头的使用	13
第二章 示波器测量电流和电压	19
一、直流电压的测量	19
二、交流电压的测量	20
三、正弦交流电压的有效值	20
四、阶梯电压的测量	22
五、合成电压的测量	24
六、晶体管集电极电压和电流的测量	25
七、晶体管作动态电阻时的充电波形	26
八、电源纹波电压的测量	28
九、电压测量方法归纳	29
第三章 示波器测量电子元件	31
一、线圈电感量的测量	31
二、电容量的测量	32
三、电阻值的测量	33
四、音频旁通电容的测试	35
五、光敏电阻的测试	36
六、光电池的测试	36

七、选配电容器	38
八、电位器的测试	39
九、继电器的测试	39
十、振动子的测试	41
十一、斩波器的测试	42
十二、压电晶体谐振频率的测量	43
十三、晶体管饱和与截止的测试	45
十四、晶体管噪声的检测	47
十五、变压器相位的测试	48
十六、变压器输出电压稳定度的测试	49
十七、数字集成电路的测量	50
十八、普通晶闸管的测试	51
十九、用MO-1251示波器测量电子元件	52
第四章 示波器测量频率、时间和相位	54
一、用李沙育图形测量频率	54
二、用断续环形图测量频率	56
三、脉冲上升和下降时间的测量	57
四、脉冲宽度的测量	59
五、方波上升和下降时间的比较	59
六、测量周期及用周期换算频率	61
七、两信号时间差的测量	62
八、检验RC耦合时常数对电路的影响	62
九、用双踪法测量电路的相移	64
十、用X-Y(李沙育)法测信号相位	66
十一、电压与电流之间相位的测量	66
十二、两电流间相位的测量	68
十三、时间测量方法归纳	69
十四、正弦电压相位测量方法归纳	71
第五章 示波器测量放大器和扩音机	74

VI

一、A类晶体管放大器的波形	74
二、B类晶体管放大器的波形	74
三、音频放大器输出功率的测量	77
四、放大器噪声的测量	78
五、放大器失真的测量	78
六、用方波检验高音质放大器	82
七、放大器频率响应的测量	83
八、放大器输入阻抗的测量	85
九、音频放大器增益的测量	86
十、检验音频功率放大器过载	88
十一、检测分相放大器	89
十二、单纸盆扬声器阻抗的测量	91
十三、检验扬声器的相位	91
第六章 示波器检验发射和接收设备	93
一、检验送话器的频响	93
二、检测调幅信号的调幅度	94
三、检测接收机的自动增益控制	95
四、检测等幅波电报发射机的电键调制	96
五、输入调谐回路抑制比的测量	97
六、检测单边带发射机的调制度	99
七、接收机中频放大器增益的测量	100
八、检测晶体管收音机的本机振荡器	101
九、调整中频放大器的频率特性	103
十、接收机信号噪声比 S/N 的测量	103
十一、灵敏度的测量	105
十二、线圈波段覆盖的测量	106
十三、邻近波道衰减的测量	107
十四、频带宽度的测量	108
十五、用示波管制成的调幅度监视器	109

十六、单边带发射机功率的测量	111
第七章 示波器检测电视机	113
一、电视机中频特性曲线的调试	113
二、检测视放的行频信号	115
三、检测视放对灰度的放大特性	115
四、检测视放的场频信号	117
五、观测全电视信号	119
六、检测自动频率微调 (AFC) 电路	119
七、检测行振荡、行推动和行输出级	122
八、检测场扫描电路	123
九、检测场同步放大及其积分电路	127
十、场消隐和行消隐电路的测试	129
第八章 测量电子线路和设备	131
一、晶体管DC—DC变换器的检验	131
二、具有基极绕组的DC—AC变换器的检验	131
三、限幅器的测试	134
四、箝位电路的测试	136
五、施密特触发器的测试	137
六、线性锯齿波发生器的测试	139
七、阶梯波发生器的测试	139
八、观测半波晶闸管整流器波形	142
九、三角波发生器的测试	144
十、观测隧道二极管多谐振荡器波形	145
十一、由正弦波到方波的转换器波形	145
十二、滤波器的检验	148
十三、振荡器的检验	149
十四、单稳多谐振荡器的检验	150
第九章 示波器的扩展应用	153
一、检波二极管的测试	153

二、功率整流二极管的测试	154
三、稳压二极管的测试	154
四、隧道二极管特性曲线的测量	157
五、PNP晶体管特性曲线的测量	157
六、NPN晶体管特性曲线的测量	159
七、PNP 功率晶体管特性曲线的测量	160
八、NPN功率晶体管特性曲线的测量	160
九、单踪示波器改为双踪扫描	162
十、单踪示波器改为三踪扫描	164
十一、单踪示波器改为四踪扫描	166
十二、示波器与扫频发生器配合使用	168
十三、用普通示波器测试高频信号	169
十四、单绕组和双绕组变压器磁滞回路的测试	172
十五、集成运算放大器的测量	175

第一章 如何使用示波器

一、了解示波器的性能

本书介绍的在实验中使用的示波器有SR-8型、S-BT5型、MO1251型等。除个别实验外，其它实验都没有具体说明使用什么型号的示波器，其原因是对许多电路的实验，几乎用任何型号的示波器都能进行，并不限于上面举出的几种。还有些电路的实验必须使用工作频率比较高的示波器。不同性能的示波器所能完成的测量对象是不同的。因此了解示波器的工作性能是很重要的。

输入灵敏度是示波器重要性能之一，其意义是指屏幕每格能够显示的最低输入信号电压。例如灵敏度为 $5\text{mV/div}\ominus$ ，或者写成 5mV/cm ，即表示示波器屏幕每格（每厘米）所能显示的信号电压为 5mV 。

对任何信号，示波器输入灵敏度分成许多档级，有最高灵敏度档和最低灵敏度档。 V/div 档次选择开关的外形请参考图1-1 a。对于SR-8双踪示波器，最高灵敏度档为 10mV/div ，最低灵敏度档为 50V/div 。因此，当输入信号低于 10mV 时，用SR-8示波器将难以显示。另外，当输入信号超过 400V 时，即使示波器在最低灵敏度档，波形峰值都可能超出屏幕的范围。当然，如果使用衰减10探头，输入电压的范围就扩大至10倍。

示波器最重要的性能是Y轴通道的频率响应（即频带宽度）和扫描速度 t/div 、 SEC/DIV 或写成 t/cm 。

$\ominus \text{ div}$ 表示“每格”。

9010229

对于SBT-5示波器，其频带宽度为10Hz~10 MHz。当信号工作频率超过10MHz时，该示波器就不能适用。

扫描速度从最快扫描速度到最慢扫描速度分成许多档。扫描档次选择开关的外形请参考图 1-1 b。例如SR-8示波器最快扫速为 $0.2\mu\text{s}/\text{div}$ ，则一个上升时间为 $0.2\mu\text{s}$ 的波形在屏幕上占据1cm，基本可以看清。如果上升速度更快（时间更短）时，用该示波器就不能观察了（若用扩展 $\times 10$ 档，最快扫速可达 $20\text{ns}/\text{div}$ ）。SR-8示波器最慢扫速为 $2.5\text{s}/\text{div}$ ，信号波形上升时间低于此值时，信号已不能看清。对十分缓慢变化的信号，宜采用慢扫描的低频或超低频示波器观测。

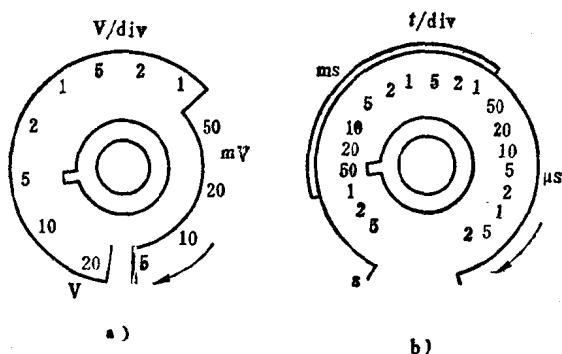


图1-1 t/div 和 V/div 转换开关

若要使测量的高频信号或窄脉冲能不失真地重现，要求信号的工作频率必须低于示波器的最高工作频率。例如，当脉冲信号的脉冲上升时间为 $t_r(\mu\text{s})$ 时，则示波器带宽（最高工作频率）由下式估算：

$$B > \frac{2.2}{t_r} \quad (\text{MHz})$$

二、示波器屏幕刻度和面板开关

示波器屏幕一般分为圆形和矩形两种。现代示波器都为矩形屏幕，形成刻度方格图如图 1-2 所示。一般刻度方格图的小格为正方形。例如灵敏度选择开关“ V/div ”中的 div ，表示每格能显示的电压。一般情况下每格边长为 $1cm$ ，所以可写成 V/cm ，两者是统一的。这里再将示波器面板上的主要工作开关介绍如下：

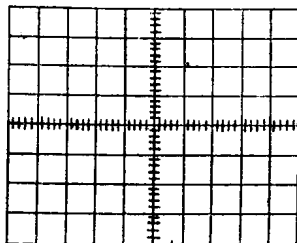


图1-2 屏幕刻度方格图

(1) “DC-GND-AC”

或“DC- $\perp$ -AC”——Y轴输入选择开关：在“DC”位置时，输入信号（直流或交流）均可直接馈至放大器。尤其是观察直流或含直流分量的交流信号时，必须将选择开关置于此档。

在“GND”或“ $\perp$ ”位置时，信号通路断开，并使Y轴放大器输入端接地，此时仍提供零参考基准线，测量直流电压或信号含直流分量时，以此基线作为零参考基准。

在“AC”（交流）位置时，阻断输入信号“DC”（直流）分量；

④ (2) “VOLTS/DIV”或“ V/div ”——灵敏度选择开关：Y轴衰减器提供垂直灵敏度的档次。当微调位于校准位置时（顺时针转至满度）， $5mV \sim 20V/div$ 分成12档级（对MO-1251型示波器），可根据被测信号的幅度选择最适当的档级，以利观测。

(3) “MODE”或“方式选择”开关：“CH1”通道1，仅显示单踪通道1馈入的信号；“CH2”通道2，仅显

示单踪通道 2 馈入的信号。

配合 SEC/DIV 开关, 可同时显示通道 1 和通道 2 的信号。在“ADD”方式处, 为两单踪信号代数和显示; 如拉出“CH2 POSITION”旋钮时, 则为两信号代数差显示(对 MO-1251 示波器而言)。

(4) “SEC/DIV”或“ t/div ”——扫速开关: 显示瞬时电压与时间关系的曲线。Y 轴方向表示电压, X 轴方向表示时间。当微调处于“校准”位置时, 从开关所在档次与屏幕显示的刻度, 可直接换算出扫描速度值, 即每格所表示的时间 (MO-1251 示波器扫速在 $0.2\mu\text{s}\sim 0.5\text{ s}/\text{div}$; SR-8 示波器扫速在 $0.2\mu\text{s}\sim 1\text{ s}/\text{div}$)。

对 MO-1251 示波器, “SEC/DIV”开关还包括: X-Y 工作方式, 交替、断续与 TV-V、TV-H 工作方式的转换。

(5) “TRIGGER LEVEL”或“电平”旋钮: 调节触发信号波形上的起始电平, 可以在所需电平上启动扫描。当触发电平位置越过触发区域时, 扫描将不启动, 屏幕上无波形显示。因此当加有信号而在屏幕上未出现图形时, 应调节此旋钮。对 MO-1251 示波器, 在“AUTO”方式即自动扫描方式时, 需拉出此旋钮。

(6) “COMPONENT TEST”——元件测试开关 (MO-1251 示波器): 进行元件测试时接通此开关。此时“SEC/DIV”开关置于 X-Y 位置; “DC-GND-AC”开关都调至 GND 位置。

(7) 校准信号输出端: 校准信号由此端点输出, 方波频率为 1 kHz。MO-1251 示波器输出电压幅度为 0.5 V, SR-8 示波器为 1 V。

(8) “POSITION”或位移旋钮: 通道 1 (Y_A) 或通道 2

(Y_B)垂直位移调节旋钮共有两个,可调节信号在垂直方向上的位置;水平位移旋钮1个,可调节信号在水平方向的位置。

以上是示波器的主要工作开关或调节旋钮。其它工作开关当读者用到时,可请看该示波器的使用说明书。

三、示波器的组成框图

示波器的种类虽然很多,但最有代表性的组成框图如图1-3所示。

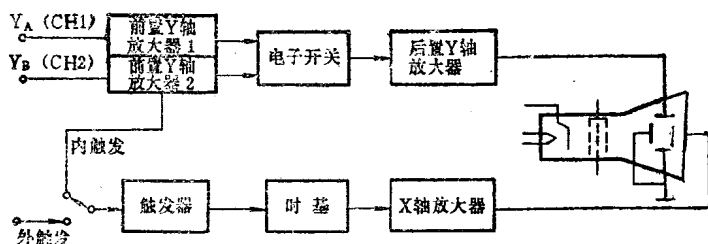


图1-3 示波器的组成框图

(1) 垂直放大器: 含前置Y轴放大器和后置Y轴放大器。由于示波管偏转灵敏度低, 为了能够观测微小信号, 必须用放大器放大被观测的信号, 使之达到规定的电平后, 驱动电子束在示波管内作垂直偏转。

对于双踪显示(多踪与此类似, 仅在此基础上叠加), 两个前置放大器将微弱信号放大, 达到一定电平后接电子开关。

(2) 电子开关: 被放大的信号进入电子开关, 电子开关将两路信号“交替”或“断续”接通。例如 $t_0 \sim t_1$ 时间接A通道, $t_1 \sim t_2$ 时间接B通道, 依靠“分时取样”原理进行工作。这样循环交替, 在荧光屏上就可以显示出两个或两个以上的

波形了。

(3) 触发器: 被测信号从 Y 轴放大器取出送至触发器, 经整形后产生与被测信号周期相同的微分脉冲, 用它去触发时基电路中的锯齿波扫描电压, 使该电压与被测信号或外加信号同步。当选择开关在“外”位置时, 触发信号由“外触发”插座输入。

(4) 时基电路: 触发信号进入时基电路, 产生时间基准信号, 启动扫描发生器, 形成线性变化的锯齿波电压。这个电压经过水平放大器放大到规定电平后, 加到示波管的水平偏转板上, 使电子束产生水平扫描。

(5) 示波管: 主要由偏转板、栅极、阴极、阳极、电子枪等部分组成。垂直放大器的被测信号加至垂直偏转板上, 仅在屏幕上形成一条竖线, 信号作强弱变化时, 使其长短发生变化。水平放大器的锯齿波加至水平偏转板上, 形成一条水平线。这条水平线将垂直轴的被测信号拉开, 在屏幕上展现出随时间连续变化的信号。当然信号的清晰度、亮度和强弱等还受示波管的其它电极控制, 这里就不详述了。

(6) 电源: 包括低压电源供给示波器的各个电路, 高压电源供给示波管的阳极。

四、什么叫做扫描

一个图形记录仪或称为 XY 记录仪, 它能够在纸上描绘出信号随时间变化的波形。仪器笔尖摆动的大小, 紧跟着信号的振幅变化精确地上下偏移, 同时纸张也沿着水平方向等速运动, 这时记录仪就能够产生信号的复制品。

示波器的作用与此类似, 但它们的工作性能有很大的不同。记录仪的描绘系统具有一定的重量, 而示波器荧光屏上

的波形是用电子束描出的,是没有重量的。记录仪的记录系统每秒钟仅能瞬变数次,而电子束瞬变范围在纳秒(10^{-9}s)级。这样示波器可以观察到比记录仪快得多的信号的瞬变现象。

如何在示波器的屏幕上显示出被观测的信号波形呢?

示波器之所以能用来观察信号波形,主要基于示波管的线性偏转特性,即电子束(屏幕上的光点)的偏转距离正比于加到偏转板上的电压的大小。若只将被测信号加到垂直(Y)偏转板上,则在屏幕上只能看到一条垂直的直线,如图1-4 a所示。这时光点只随信号(设为一个正弦波)振幅值的变化而在垂直方向上下移动。

为了在屏幕上把这个正弦信号波形描绘出来,必须通过扫描,即同时在水平(X)偏转板上加一个所谓扫描电压,一般是一个随时间作线性变化的锯齿波电压。设这个锯齿波电压如图1-4 b所示;如果垂直偏转板上不加信号电压,那么水平偏转板在锯齿电压 V_x 单独作用下,屏幕上的光点将随着锯齿振幅线性增加而从左端开始向右作等速直线运动。如果 V_x 振幅合适,则正好从屏幕最左端至最右端扫出一条水平直线,经过 T_1 时间直线扫描完毕。 T_1 这段时间,电子束从左扫到右,称为扫描正程。 T_1 这段时间,电子束从右返回到左,称为扫描逆程。 T_2 段处于锯齿波第二次扫描即将开始之前,处于等待阶段。在 T_1 和 T_2 时间范围内,屏幕上不显示信号波形。经过 $T_s = 2T_1$ 时间第二个锯齿波扫描周期开始,屏幕又出现水平亮线,其过程与第一个扫描周期相同。通常锯齿波周期很短(频率比较高),尤其是正程比逆程时间长,因此水平线亮度是稳定的。

由于锯齿波幅值随时间线性变化,屏幕上的X轴就变成