

● 李 玮 主编

示波器 的 使用与检测技巧

SHIBOQI DE
SHIYONG YU JIANCE JIQIAO

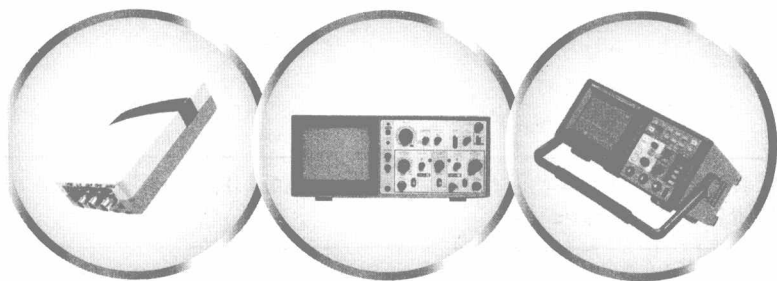


化学工业出版社

● 李 玮 主 编

示波器 的 使用与检测技巧

SHIBOQI DE
SHIYONG YU JIANCE JIQIAO



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

示波器的使用与检测技巧/李玮主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.5
ISBN 978-7-122-02632-3

I. 示… II. 李… III. ①示波器-使用②示波器-检测 IV. TM935.307

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053233 号

责任编辑: 卢小林
责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 238 千字
2008 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

示波器作为现代电子测量的重要工具，广泛地应用于电子技术领域。示波器能快速地把肉眼看不见的电信号的时变规律，以可见的形象显示出来，结合测量电路还可以对压力、振动、声、光、热、磁等非电量进行测试。随着新电路、新器件的应用，特别是数字技术的大量应用，越来越多的工程技术人员体会到了示波器强大的检测优势，此时正确地使用示波器进行各类信号测量成为很多工程技术人员，尤其是一些新手亟待解决的问题。

本书较为系统地介绍了示波器在电量测量和一些常见的非电量测量中的使用方法，并通过一些简单直观的实例操作使读者能在较短的时间内掌握示波器的基本操作步骤和方法，非常适合新手学习。同时，全书以大量的图形展示了示波器测量中的连接方式、测量结果及读数方法，对于非电专业的人员来说也易于理解和掌握。书中还介绍了许多使用示波器进行测量的技巧方法，有助于使用者更巧妙地利用好这一测量工具。

本书第1章至第6章由李玮编写，第7章由祝骅编写，第8章由孙菊妹编写，第9章、第10章由裴忠贵编写。具有丰富实践经验的梅笙工程师对本书的编写提出了很多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2008年2月

目 录

第 1 章 电子示波器基础知识	1
1.1 电子示波器分类及特点	1
1.1.1 电子示波器分类	1
1.1.2 电子示波器的特点	2
1.2 模拟示波器	2
1.2.1 模拟示波器的基本组成	2
1.2.2 示波器显示波形的工作原理	3
1.2.3 主要技术指标	6
1.2.4 通用示波器的垂直系统 (Y 通道)	8
1.2.5 通用示波器的水平系统 (X 通道)	11
1.3 数字存储示波器	17
1.3.1 数字存储示波器的特点	17
1.3.2 数字存储示波器的基本工作原理	18
1.3.3 数字存储示波器的工作方式	20
1.3.4 数字存储示波器的显示方式	21
1.4 模拟示波器与数字示波器比较	22
1.4.1 模拟示波器和数字示波器发展历史	22
1.4.2 模拟示波器和数字示波器比较	23
1.4.3 组合示波器	24
1.5 示波器的附件和软件	25
1.5.1 探头	25
1.5.2 软件	29
第 2 章 模拟示波器的使用	31
2.1 通用模拟示波器使用前的检查	31
2.1.1 安全注意事项	31
2.1.2 操作注意事项	31

2.2 示波器的测量和练习	32
2.2.1 面板介绍	32
2.2.2 基本操作	34
2.2.3 使用方法	35
2.2.4 示波器的测量及实例练习	37
2.3 示波器的校正	48
第3章 数字示波器的使用方法	53
3.1 数字示波器的基本功能	53
3.1.1 数字示波器的主要技术指标	53
3.1.2 数字示波器的基本功能	56
3.2 TDS1000 系列数字存储示波器的使用	60
第4章 示波器在电信号测量中的应用	71
4.1 电压的示波测量法	71
4.1.1 电压信号的示波器测量	71
4.1.2 用示波器测量电压的误差	77
4.2 电流的示波测量法	77
4.3 功率的示波测量法	80
4.4 频率的示波测量法	85
4.4.1 屏幕直读测频法	85
4.4.2 频率的示波器屏幕光标测读法	86
4.4.3 用李沙育图形法测量频率	87
4.4.4 亮度调制测频法	90
4.5 相位差的示波测量法	93
4.5.1 测量相位的椭圆示波图形法	94
4.5.2 圆扫描示踪法测量相位	97
4.5.3 半圆示踪法测量相位	101
4.5.4 用直接比较法测量相位差	104
4.5.5 用示波法精确测量相位	106
4.5.6 极小相位差的测量	109
4.5.7 用李沙育图形法和 Z 轴亮度调制法测量相位	112
4.5.8 示波法测量相位方案的选择和应用技术条件	114

4.6 电阻值、电容值和电感值的示波测量法	117
4.6.1 电阻的测量	117
4.6.2 电容、电感的测量	118

第5章 示波器在电子元器件特性测量中的应用—————123

5.1 用示波器测量二极管	123
5.1.1 整流二极管的测量	123
5.1.2 功率二极管的测量	124
5.1.3 稳压二极管的测量	127
5.1.4 二极管恢复时间的测量	129
5.1.5 单结晶体管特性测量	130
5.2 用示波器测量晶体三极管	132
5.2.1 晶体三极管电流输出特性的测试	132
5.2.2 晶体三极管伏安特性的测量	133
5.2.3 晶体三极管开关时间的测量	136
5.2.4 晶体三极管截止频率的测量	137
5.3 用示波器测量晶闸管	139
5.4 用示波器测量磁性元件	142
5.4.1 线圈上“自然”电压和电流变化的测量	142
5.4.2 耦合线圈特性的测量	145
5.4.3 磁性元件磁滞回线的测量	146
5.5 用示波器测量数字逻辑电路	147
5.6 用示波器测量其他常见的器件	149

第6章 示波器在检修激光影碟机中的应用—————155

6.1 示波器的“眼图”	155
6.1.1 “眼图”的概念	155
6.1.2 “眼图”的作用	156
6.2 示波器在检修CD机中的应用	157
6.2.1 CD机的原理和结构	157
6.2.2 示波器在CD机调整中的应用	159
6.2.3 示波器在CD机维修中的应用	163
6.3 示波器在VCD机检修中的应用	168

6.3.1	VCD 机的原理和结构	169
6.3.2	用示波器调整激光头和检测激光头的性能	175
6.3.3	用示波器调试 VCD 机电路	176
6.3.4	用示波器维修 VCD 机	178
6.4	示波器在 DVD 机检修中的应用	181
6.4.1	DVD 的原理与结构	181
6.4.2	用示波器维修 DVD 机	183
第 7 章 示波器在检修电视机中的应用		185
7.1	彩色电视机的结构	186
7.2	彩电电路中的信号波形	188
7.3	用示波器检修彩电的方法、技巧	191
7.3.1	用示波器检修彩电的基本方法	191
7.3.2	用示波器检修彩电的技巧	193
7.4	用示波器检修彩电实例	195
第 8 章 示波器在无线电测试技术中的应用		200
8.1	示波器在整流器、放大器和振荡器特性测定中的应用	200
8.1.1	用示波器测量整流器特性	200
8.1.2	用示波器测量放大器特性	203
8.1.3	用示波器测量振荡器特性	212
8.2	示波器在发信机测试中的应用	216
8.3	示波器在扩音机检测中的应用	221
8.4	示波器在电视接收机调准中的应用	224
第 9 章 示波器在工业中的应用		231
9.1	示波器在电动机及控制系统测量中的应用	231
9.1.1	示波器在电动机转速测量中的应用	231
9.1.2	示波器在测定电动机转子 GD^2 值中的应用	233
9.1.3	示波器在电动机转动平稳性判断中的应用	235
9.1.4	示波器在电动机控制电路检修中的应用	237
9.2	振动测量	240
9.2.1	交流全桥测量振动的方法	241

9.2.2	差动变压器式电容传感器测量振动的方法	242
9.2.3	采用应变片测量振动	244
9.2.4	利用数字示波器 FFT 功能直接测量振动的方法	245
9.3	开关电源的测试	246
9.3.1	用示波器测量电源纹波	246
9.3.2	数字示波器测量开关电源	247
9.4	示波器测量抖动	253
9.4.1	概述	253
9.4.2	抖动测量中示波器的应用	254
第 10 章	示波器的选购、保养和维修	256
10.1	示波器的选购	256
10.2	示波器的保养与维护	261
10.3	示波器维修	263
10.3.1	基本检修方法	263
10.3.2	维修实例	266
参考文献		273

第1章

电子示波器基础知识

1.1 电子示波器分类及特点

电子示波器是一种能直接观察和真实显示被测信号的综合性显示仪器，它不仅能定性观察电路的动态过程，还能定量测量各种电参数。通过示波器可以直观地观察被测电路中信号或参数的波形，包括形状、幅度、频率（周期）、相位，还可以对两个波形进行比较，从而迅速、准确地找到故障原因。正确、熟练地使用示波器，是工程技术人员的一项基本功。

1.1.1 电子示波器分类

根据目前电子示波器发展的现状，大致可分为模拟示波器和数字示波器两大类。进一步细分可归纳为以下9类。

(1) 通用电子示波器——简易示波器、示教示波器、高灵敏度示波器、慢扫描（超低频）示波器、多线示波器、多踪示波器等。

(2) 取样示波器——高阻取样示波器、低阻取样示波器、时域反射仪等。

(3) 存储示波器——记忆示波器、数字存储示波器、数字荧光示波器（DPO）等。

(4) 数字智能化示波器——数字读出示波器、数字处理示波器、智能化示波器等。

(5) 电视示波器——矢量示波器、波形监视器、选行示波器等。

(6) 逻辑分析仪——逻辑示波器、逻辑分析仪等。

(7) XY示波器——XY示波器、立体声示波器等。

(8) 显示器——CRT 终端、监视示波器等。

(9) 特种示波器——高压示波器、行波示波器、雷达示波器等。

1.1.2 电子示波器的特点

各种类型的电子示波器，对于电信号波形的测量是极其有效的。若借助于各种传感器，则可以显示出诸如温度、压力、加速度以及生物信号等变化过程，其主要特点如下。

(1) 由于电子束的惯性小，因而速度快，工作频率范围宽，适应于测试快速脉冲信号。

(2) 测试灵敏度高。因为配有高增益放大器，所以能够观测微弱信号的变化。由于不用表针指示方式，因而过载能力强。

(3) 输入阻抗高。对被测电路影响小。

(4) 随着微处理器 (MPU)、单片机 (MCU) 和计算机技术在电子示波器领域里得到了越来越广泛的应用，使电子示波器的测量功能更强大，测量电参量的数量 (包括通过传感器将非电量转换成的电参量) 更多。

1.2 模拟示波器

1.2.1 模拟示波器的基本组成

示波器一般是由示波管、X 轴偏转系统、Y 轴偏转系统、电源电路四部分组成，如图 1-1 所示。

主要组成部分的作用如下。

(1) X 轴偏转系统 (水平系统)。其作用是产生扫描锯齿波并加以放大，以驱动电子束进行水平扫描。由触发整形电路、扫描发生器及 X 放大器组成。

(2) Y 轴偏转系统 (垂直系统)。其主要作用是放大被测信号电压，使之达到适当幅度，以驱动电子束作垂直偏转。由衰减器、放大器及延迟线等组成。

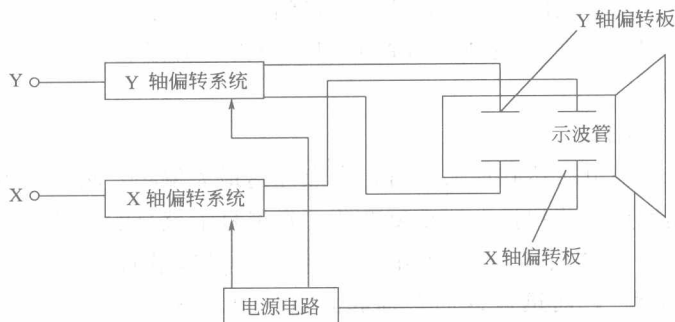


图 1-1 示波器组成简图

(3) 主机部分。主要包括示波管、增辉电路、电源和校准信号发生器。示波管是示波器的显示器件，用来观测信号波形。增辉电路的作用是在扫描正程使光迹加亮，而在扫描回程使光迹消隐。电源电路将交流市电变换成多种高、低压电源，以满足示波管及其他电路工作需要。校准信号发生器则提供幅度、周期都很准确的方波信号，用作校准示波器的有关性能指标。

1.2.2 示波器显示波形的工作原理

1.2.2.1 波形显示

当示波管未加偏转电压时，电子束打在荧光屏中心位置上而产生亮点。当在示波管 X 和 Y 偏转板上都只加直流电压时，也可以在荧光屏上得到一个位置产生变化的亮点。每个亮点所在的位置都可以设为起始点。

被测信号的波形可以看作是由很多亮点构成的，由示波管的线性偏转特性可知，每个亮点在 X 和 Y 方向上的坐标（即相对于起始点的距离）分别与被测信号波形中该点的时间及瞬时电压成正比。当被测电压、扫描电压分别加至垂直、水平偏转板上时，电子束受到垂直、水平偏转板的共同作用，使电子束每一时刻产生的亮点的垂直位移与被测电压的瞬时电压成正比，而在时间上则一一对应，这样就在荧光屏上得到一个留存时间很短的亮点轨迹，即波形。只要被测信号是周期性信号，每次得到的波形又能完全重复，

并且重复的间隔时间很短, 就可以得到稳定的被测信号波形, 重复间隔时间应少于人眼视觉暂留时间, 否则, 波形会闪烁, 不便于观测。

1.2.2.2 扫描

当扫描电压达到最大值时, 亮点即达最大偏转, 然后从该点返回到起始点。若扫描电压重复变化, 在屏幕上就显示一条亮线, 这个过程称为“扫描”。亮点由左边起始点到达最右端的过程称为“扫描正程”, 而迅速返回扫描起始点的过程称为“扫描回程”或“扫描逆程”。理想锯齿波的回程时间是零。

在 X 偏转板有扫描电压作用的同时, 若在 Y 偏转板上加被测信号电压, 就可以将其波形显示在荧光屏上, 如图 1-2 所示。被测电压 u_y 的周期为 t_y , 如果扫描电压的周期 t_x 正好等于 t_y , 则在 u_y 和 u_x 的共同作用下, 亮点的光迹正好是一条与 u_y 相同的曲线 (在此为正弦曲线), 亮点从 0 点经 1、2、3 至 4 点的移动为正程。从 4 点迅速返回 0 点的移动为回程。回程的光迹为连接 4 点、0 点的直线。为了使显示的波形清晰, 需将回程形成的光迹隐去。

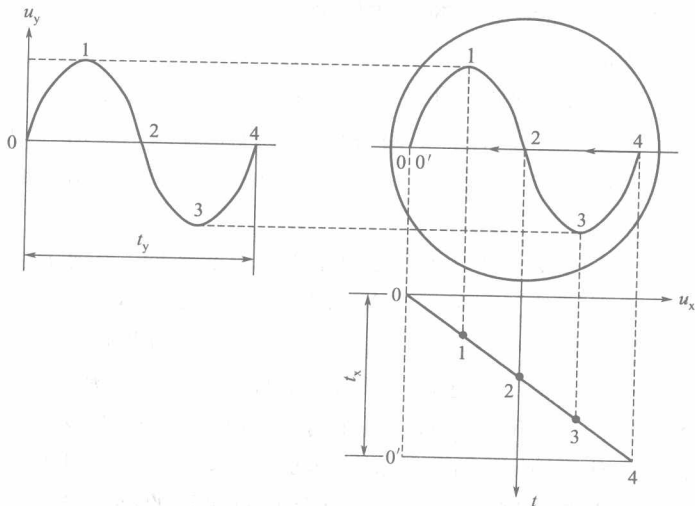


图 1-2 显示波形原理

由于扫描电压 u_x 随时间作线性变化，所以屏幕的 X 轴就成为时间轴。亮点在水平方向偏转的距离大小代表了时间的长短，故称扫描线为时间基线。若扫描正程线性不佳将影响波形疏密，扫得快时波形扩展，扫得慢时波形压缩。

1.2.2.3 同步

上述是 $t_x = t_y$ 的情况。如果是 $t_x = 2t_y$ ，则在荧光屏上显示如图 1-3 的波形。由于波形多次重复出现，而且重叠在一起，所以可观察到一个稳定的图像。

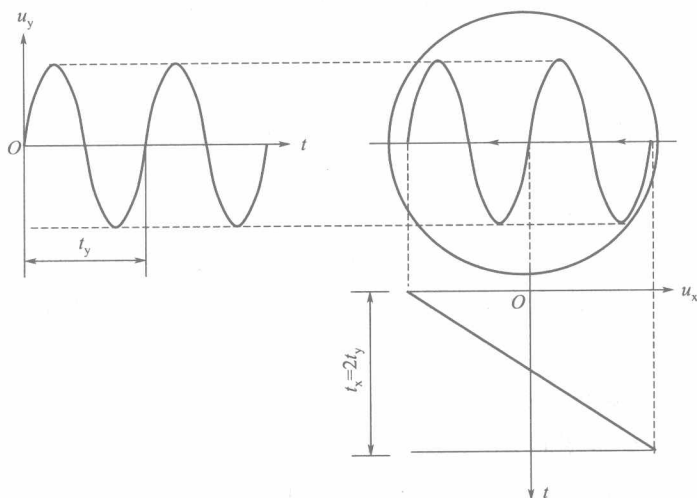


图 1-3 $t_x = 2t_y$ 时显示波形

如果 t_x 不是 t_y 的整数倍，会有什么结果呢？若 t_x 略大于 t_y ，于是一个 t_x 时间内显示一个正弦波多一点，如图 1-4 所示。第二个 t_y 时，亮点从 A 跳到 B，画出第二个正弦波后从 C 跳到 D……如此，将看到波形向左移。反之若 t_x 略小于 t_y ，波形将向右移动。

至此，可得到稳定显示一个波形的条件：第一，待测信号 u_y 为频率 f_y 稳定的周期性信号；第二， u_x 为频率 f_x 稳定的锯齿波电压；第三， $f_y = n f_x$ (n 为正整数)。满足这三个条件称为同步，它依靠同步电路进行自动调节。同步有三种方式，用待测信号去控

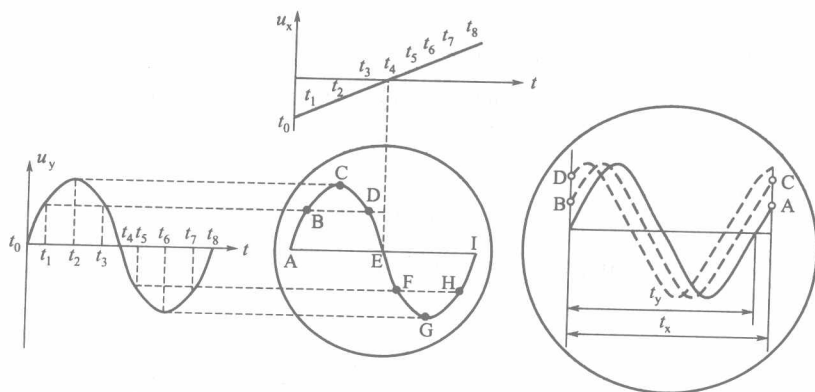


图 1-4 不同步波形

制扫描频率称为内同步；用 50Hz 市电去控制扫描频率称为电源同步，显然，此时待测信号频率应与电源有关；用与有关的第三个信号去控制称为外同步。

总之，电子束在被测电压与同步扫描电压的共同作用下，亮点在荧光屏上所描绘的图形反映了被测信号随时间的变化过程，当多次重复就构成稳定的图像。

1.2.3 主要技术指标

1.2.3.1 频带宽度 BW 和上升时间 t_r

如不加说明，示波器频带宽度 BW 均为 Y 通道的频带宽度，它是 Y 通道输入信号上、下限频率 f_H 和 f_L 之差，即 $BW = f_H - f_L$ 。现代示波器的 f_L 一般延伸至 0，因此频带宽度可用上限频率 f_H 来表示。

上升时间 t_r 用于表示在输入脉冲等瞬变信号时示波器 Y 通道的过渡特性（瞬态响应特性），即在 Y 通道输入端加一个理想的脉冲信号，显示波形从稳定幅度的 10% 上升到 90% 所需的时间，它反映出示波器 Y 通道能否跟得上输入信号变化的性能，上升时间越短，性能越好，可测信号的频率越高。

频带宽度 BW 与上升时间 t_r 之间存在的关系如下：

$$BW \times t_r \approx 0.35$$

式中, BW (或 f_H)、 t_r 的单位分别为 MHz 和 μs 。

为了在测量时不产生明显的测量误差, 通常要求 $t_r \leq t_{ry}/3$ (t_{ry} 被测信号上升时间), 否则, 应按下式修正。

$$t_{r1} = \sqrt{t_{r2}^2 - t_r^2}$$

式中 t_{r1} ——被测脉冲实际上升时间;

t_{r2} ——根据波形直接测出的被测脉冲上升时间;

t_r ——示波器上升时间。

1.2.3.2 扫描速度

扫描速度是单位时间内亮点水平移动距离, 单位为 “cm/s” 或 “div/s” (div 读作 “格”, 一般 1div=1cm)。扫描速度越快, 显示的波形越宽, 反之, 越窄。扫描速度的倒数称为 “时基因数”, 单位为 “t/cm” 或 “t/div”, t 可取 μs , ms 或 s。

示波器常用时基因数进行水平方向标度, 时基因数一般按 “1, 2, 5” 的顺序分成很多挡。另外, 示波器还设有时基因数 “微调” 旋钮或 “扩展” 旋钮, 两旋钮分别是用来连续调节和成倍扩展波形宽度的, 它们放在 “标准”、“ $\times 1$ ” 位置时, 时基因数的实际大小等于 “时基因数” 旋钮所指示的数值。

1.2.3.3 偏转因数

偏转因数是指在输入信号作用下, 亮点在荧光屏上移动 1cm 或 1div 所需的电压值, 单位 “mV/cm” “mV/div” 或 “V/cm” “V/div”, 数值越小, 波形幅度越大。偏转因数是通过变换 Y 通道衰减器的衰减比, 从而改变加到 Y 偏转板上的信号电压大小来实现的。偏转因数的倒数称为 “偏转灵敏度”, 单位 “cm/V” 或 “div/V”。

示波器常用偏转因数进行垂直方向标度, 按 “1、2、5” 的顺序分成很多挡。另外, 示波器还设有偏转因数 “微调” 旋钮, “微调” 旋钮通过改变 Y 输出放大器的电压增益来连续调节波形的显示幅度。当 “微调” 旋钮置于 “校准” 位置时, 偏转因数的实际大小等于 “偏转因数” 旋钮所指示的数值。

1.2.3.4 输入阻抗 Z_i

示波器输入阻抗 Z_i ，即被测电路的等效负载，可等效为输入电阻 R_i 和输入电容 C_i 的并联。通常规定 $R_i = (1 \pm 5\%) M\Omega$ ，要求 C_i 随频带宽度的增加而减小， C_i 一般为 35pF 左右。测量高频信号时应考虑输入电容的影响。

1.2.3.5 输入方式

输入方式即输入耦合方式，一般有接地（GND）、直流（DC）和交流（AC）三种耦合方式。

接地耦合是将示波器 Y 通道输入端短路，一般在测量直流电压时，为确定零电平位置而选用；直流耦合即直接耦合，将输入信号所有成分都加到示波器上；交流耦合可隔离被测信号中的直流及慢变化分量，抑制工频干扰，便于测量高频及交流瞬变信号。

变换交流耦合和直流耦合，可以测出交流信号中直流成分的大小。

1.2.3.6 触发源选择方式

触发源是指用于提供产生扫描电压的同步信号来源，一般有内触发（INT 双踪示波器又有 CH_1 和 CH_2 之分）、外触发（EXT）和线触发（LINE）三种方式。内触发是指由被测信号来产生同步触发信号；外触发是指由外部电路提供的信号来产生同步触发信号；线触发又称为电源触发，是指利用示波器内部工频电源来产生同步触发信号。

1.2.4 通用示波器的垂直系统（Y 通道）

用示波器观测信号时，欲使荧光屏显示的波形尽量接近被测信号本身所具有的波形，则要求 Y 通道必须准确地再现输入信号。Y 通道要探测被测信号，并对它进行不失真的衰减和放大，还要具有倒相作用，以便将被测信号对称地加到 Y 偏转板。另外，为了和 X 通道相配合，Y 通道还应有延时功能，并能向 X 通道提供内触发源。因此，它必须具有以下组成，如图 1-5 所示。

1.2.4.1 输入电路

输入电路的基本作用是引入被测信号，并为前置放大器提供良