

DIANZI XINXI JISHU
JICHU SHIYAN JIAOCHENG

电子信息技术

基础实验教程

梁文海 廖 磊 周晓林 主编



科学出版社

电子信息技术基础实验教程

梁文海 廖 磊 周晓林 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书包括电路分析、模拟电子技术、数字电子技术和信号与系统四门电子信息类基础课程实验教学内容。在参考了多所高等院校电子信息类专业基础实验教学大纲基础上,重点选择了38个具有代表性的实验内容。本书分为基础性实验和综合设计性实验,共四部分,第一部分是绪论,主要介绍实验测量基础知识和常用电子仪器设备使用;第二部分是电子技术基础实验,主要介绍电路分析、模拟电子技术和数字电子技术基础实验;第三部分是信号与系统基础实验;第四部分是综合设计性实验,主要介绍模拟电子技术、数字电子技术和信号与系统综合设计性实验。本书引入了MATLAB仿真实验内容,加强了仿真技术在课程实验教学中的应用。

本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、测控技术与仪器、机械设计及其自动化、物理学等专业的实验课程教材,也可作为学生课程设计和电子设计与制作等实践性教学活动用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子信息技术基础实验教程 / 梁永海, 廖磊, 周晓林主编. —北京: 科学出版社, 2014.9
ISBN 978-7-03-041148-8

I. ①电… II. ①梁…②廖…③周… III. ①电子技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TN33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第130381号

责任编辑: 李小锐 杨 岭 / 责任校对: 刘亚琦

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014年9月第一次印刷 印张: 13.75

字数: 330 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书编委会

主编：梁文海 廖 磊 周晓林

编委：孙三山 卫萌菡 麦 文

汪文蝶 陈冰洁 赵仕良

统稿：周晓林

前 言

电路分析、模拟电子技术基础、数字电子技术基础和信号与系统是电子信息工程、通信工程、电气工程及其自动化等电子信息类专业的重要基础理论课程。对培养学生电子技术基本技能与综合能力有着非常重要的作用，同时也是学生学习后续专业课程的重要基础。

本书在保证基础性、系统性的前提下，力求体现实验内容的典型性、实用性和可操作性。本书引入了 MATLAB 仿真实验内容，加强了仿真技术在课程实验教学中的应用。在编写过程中，参考了多所高等院校电子信息类专业基础实验教学大纲和实验项目，并选取了 38 个具有典型性和代表性的实验项目，其中基础实验项目 26 项，综合设计性实验项目 12 项。基础实验项目紧密结合课堂教学内容与实践教学环节，精选部分经典案例作为实验内容；综合设计部分体现了一定的设计性、综合创新性和实用性。本书实验项目基本涵盖了电子技术基础和信号与系统课程的主要知识点。

本书分为四部分，共 9 章。第一部分是绪论，包括实验测量基础知识和常用电子仪器设备使用两章；第二部分是电子技术基础实验，包括电工与电路理论基础实验、模拟电子技术基础实验和数字电子技术基础实验三章，共 21 个基础实验项目；第三部分是信号与系统基础实验，共 5 个基础实验项目；第四部分是综合设计性实验，包括模拟电子技术综合设计性实验、数字电子技术综合设计性实验和信号与系统综合设计性实验三章，共 12 个综合设计性实验项目。

本书由梁文海、廖磊和周晓林完成组稿、修改和统稿工作。其中第 1 和第 7 章由梁文海编写，第 2 和第 4 章由孙三山编写，第 3 章由卫萌菡和麦文编写（麦文执笔 3.8 节），第 5 章由廖磊和汪文蝶编写（汪文蝶执笔 5.5、5.6 和 5.7 节），第 6 章由陈冰洁和赵仕良编写（赵仕良执笔 6.3 和 6.4 节），第 8 章由廖磊编写，第 9 章由陈冰洁和赵仕良编写（赵仕良执笔 9.1 节）。

本书在编写过程中参阅了浙江天煌科技实业有限公司和启东新科教电子仪器厂的相关技术资料，同时得到了四川师范大学物理与电子工程学院电子教研室老师的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

本书在编写中力求简洁、易懂，但限于编者能力和水平有限，书中必存不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月 10 日

目 录

第一部分 绪 论

第 1 章 实验测量基础知识	3
1.1 电子电路中测量的电参数	3
1.2 测量的基本方法	3
1.3 测量误差基本知识	4
1.4 思考题	8
第 2 章 常用电子仪器设备使用	9
2.1 示波器	9
2.2 函数发生器	14
2.3 直流稳压电源	17
2.4 晶体管毫伏表	19
2.5 万用表	21

第二部分 电子技术基础实验

第 3 章 电工与电路理论基础实验	27
3.1 基尔霍夫定律和叠加原理的验证	27
3.2 戴维南定理的验证	29
3.3 受控源特性的研究	31
3.4 RC 一阶电路响应测试	34
3.5 RLC 串联电路的研究	37
3.6 功率因数和相序的测量	39
3.7 日光灯电路的测量及其功率因数的研究	42
3.8 阻抗匹配电路研究	47
第 4 章 模拟电子技术基础实验	57
4.1 单级放大器	57
4.2 场效应管放大电路	61
4.3 射极跟随器	64
4.4 负反馈放大电路	67
4.5 差分放大电路	70
4.6 运算放大器应用	73
第 5 章 数字电子技术基础实验	80
5.1 基本门电路	80
5.2 组合逻辑电路的设计与测试	84

5.3 触发器实验	86
5.4 移位寄存器设计	92
5.5 555 时基电路及其应用	95
5.6 计数、译码与显示实验	100
5.7 A/D、D/A 转换实验	103

第三部分 信号与系统基础实验

第 6 章 信号与系统基础实验	113
6.1 无源和有源滤波器	113
6.2 周期信号的分解与合成	117
6.3 二阶网络函数的模拟	120
6.4 二阶网络状态轨迹的显示	124
6.5 抽样定理	128

第四部分 综合设计性实验

第 7 章 模拟电子技术综合设计性实验	135
7.1 简易信号发生器设计	135
7.2 分离元件低频功率放大器设计	140
7.3 稳压电源设计	146
第 8 章 数字电子技术综合性设计性实验	157
8.1 组合逻辑电路设计	157
8.2 同步时序逻辑电路设计	162
8.3 基于 MSI 的多种计数器设计	166
8.4 竞赛抢答器设计	173
8.5 数字频率计的综合设计	181
8.6 数字钟综合设计	186
第 9 章 信号与系统综合设计性实验	193
9.1 MATLAB 在信号分析仿真中的应用 (一) ——MATLAB 简介	193
9.2 MATLAB 在信号分析仿真中的应用 (二) ——连续时间系统的复频域分析	198
9.3 MATLAB 在信号分析仿真中的应用 (三) ——连续信号的采样与恢复	202
参考文献	210
附录 KHD-2 型数字电路实验台使用方法	211

第一部分 绪 论

第 1 章 实验测量基础知识

1.1 电子电路中测量的电参数

电子电路的主要参数有电能量的测量、电子元器件参数的测量、电信号特征的测量、电路性能的测量和特性曲线的测量五类。电子信息基础实验就是通过各种电子测量仪器设备对电路的参数进行测量或调整,以验证或测试电子线路的特性,并在反复的实验过程中掌握测量的基本原理和测量方法。

电子电路中测量的主要参数如下。

1) 电能量的测量

电能量的测量包括电流、电压、功率和电场强度等的测量。

2) 电子元器件参数的测量

电子元器件参数的测量包括电阻、电感、电容、阻抗的品质因数和电子器件的参数等的测量。

3) 电信号特征的测量

电信号特征的测量包括信号的波形、周期、频率、相位、频谱、时间、失真度、调制度、噪声和数字信号的逻辑状态等的测量。

4) 电路性能的测量

电路性能的测量包括放大电路放大倍数、灵敏度、衰减系数、噪声系数和通频带等的测量。

5) 特性曲线的测量

特性曲线的测量包括如三极管的输入特性曲线、输出特性曲线、二极管特性曲线以及放大器的幅频特性曲线与相频特性曲线等的测量。

电子电路实验测量是以频率测量、电压测量、阻抗测量为重点,对它们的测量是其他许多派生参数测量的基础。掌握好测量这些参数的基本原理与测量方法,并了解用于测量这些参数的电子仪器设备的基本工作原理与使用方法是本书的基本要求之一。

1.2 测量的基本方法

在实验过程中,为了得到正确的测量结果,需要正确地选择测量的仪器设备和测量的方法。实验中的测量方法有很多种,下面介绍几种常用的测量方法。

1. 按测量方式分类

1) 直接测量

直接测量是指在测量过程中能直接从仪器、仪表上读出测量结果。例如,使用数字

频率计测量输入信号的频率,用万用表电阻挡测量电阻的阻值,用晶体管毫伏表测量输入信号的有效值等。直接测量的测量过程简单迅速,是实验中常用的测量方法。

2) 间接测量

先直接测量出与被测量有确定函数关系的量,再通过函数计算出被测量的测量方法称为间接测量。例如,测量电路中流过某已知阻值电阻(设其阻值为 R)的直流电流时,常采用间接测量法。首先直接测量出该电阻两端的电压 U_R ,再根据式(1-1)就可以计算出流过该电阻的电流 I_R 。

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad (1-1)$$

在以上测量情况中,采用间接测量的方法优于直接测量。因为采用间接测量方法可以不必切断支路串入电流表,该测量方法常用在测量三极管放大电路中测量静态时的基极电流、集电极电流和发射极电流等。

3) 组合测量

当被测量与几个未知量有关,且测量一次无法计算出被测量时,可以通过改变测量条件进行多次测量,然后根据被测量与未知量的函数关系列方程组,求解方程组解出被测量。它是一种兼有直接测量和间接测量的方法。

2. 按测量的性质分类

1) 时间域测量

时间域测量是指测量随时间变化的被测量的特性,被测量是时间的函数。例如,用示波器观测输入正弦波信号的峰值、周期等参数。

2) 频域测量

频域测量是指测量随频率变化的被测量的特性,被测量是频率的函数。例如,通过扫频仪测量放大器的幅频特性。

3) 数据域测量

数据域测量是指对数字系统数字量进行的测量。例如,用逻辑分析仪观测微处理器数据总线、地址总线和控制总线上的信号,并分析其逻辑状态、时序等。

4) 随机测量

随机测量是目前较新的测量技术,主要是对各种噪声信号、干扰信号进行测量和统计分析。

1.3 测量误差基本知识

1. 测量误差的来源

在测量过程中,由于各种原因,测量结果与被测量的客观真值之间总存在一定的差值,即测量的误差。所有的测量都存在误差,引起误差的原因是多方面的。下面介绍几

种在电子线路实验中常见的误差和减小的方法。

1) 仪器误差

仪器误差是测量仪器、仪表本身的电气性能或机械性能不完善产生的。例如, 元器件老化、机械部件磨损、零点偏移以及仪器仪表内部的标准量不稳定等因素引起的误差均属于仪器误差。

2) 人身误差

人身误差是测量者感官分辨率、测量习惯以及测量过程中不够仔细等因素引起的。例如, 运用指针式电压表测电压时, 若测量者未正对指针而将头偏左, 则测量的读数值偏大; 反之, 则读数偏小。要减小人身误差, 必须养成正确的测量习惯、严谨认真的态度, 并加强责任心。

3) 环境影响误差

环境影响误差是指环境的温度、湿度、电磁干扰、机械振动等因素造成的误差。要减小环境影响误差, 应选择符合要求的实验室进行测量。例如, 测试过程中若要尽可能减小电磁干扰, 可以选择在电磁屏蔽室中进行测量。

4) 测量方法误差

测量方法误差是指测量过程中, 使用的方法不合理或不完善而引起的误差。例如, 使用低输入阻抗的电压表测量高输入阻抗电路的输入电压时, 电压表分流会给测量结果带来较大误差。减小测量方法误差的方法是改进测量方法, 严格按照仪器的操作要求, 选择合适的测量量程。

2. 测量误差的表示方法

1) 绝对误差

绝对误差等于被测量的示值 x 与被测量的真值 A_0 之差, 用 Δx 表示, 则绝对误差为

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-2)$$

由式 (1-2) 可知, 绝对误差的单位与测量值的单位相同, 而且绝对误差是可正、可负的数值, 其大小和正负分别表示测量值偏离被测量真值的程度和方向。当绝对误差为正值时, 测量值偏大; 反之, 测量值偏小。

由于被测量的真值是客观存在的一个确定数值, 是被测量在一定时间和环境下的真实量值, 是一个理想值。一般情况下难于确定, 只能通过测量或测量处理后的值接近真值。通常, 可以采用高一级标准测量仪器的测量值或用多次测量求得的平均值 A 代替真值 A_0 , 则绝对误差可表示为

$$\Delta x = x - A \quad (1-3)$$

与绝对误差的大小相等、符号相反的值称为修正值, 用 C 表示, 则

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-4)$$

修正值是通过检定, 由上一级标准以表格、曲线、公式或数字等形式提供的。在实际测量中, 利用修正值可算出被测量的实际值 A , 即

$$A = x + C \quad (1-5)$$

例 1-1 用电压表 2V 挡测量电压时, 电压表的读数为 1.625V, 而该表在检定时, 2V 挡的修正值为-0.002V, 则被测电压的实际值为多少?

解 由式 (1-5) 可得被测电压实际值为

$$A = 1.625\text{V} + (-0.002\text{V}) = 1.623\text{V} \quad (1-6)$$

现在的智能化测试仪器、仪表中, 修正值预先存入设备中或通过键盘预设入仪器中, 测试仪器会自动对误差进行修正, 仪器示值就是被测量的实际值。

2) 相对误差

绝对误差可以表示测量值偏离被测量实际值的程度, 但不能反映测量的精确度。

例 1-2 测量甲、乙两正弦信号的频率, 测得甲信号的频率 f_1 为 100Hz, 测量的绝对误差 Δf_1 为 1Hz; 测得乙信号的频率 f_2 为 10^6Hz , 测量的绝对误差 Δf_2 也为 1Hz。

从例 1-2 可以看出两次测量的绝对误差相等, 但哪一种测量更精确?

在实验或工程中, 常采用相对误差来反映测量结果的精确程度, 相对误差通常用百分数表示, 可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差。

相对误差定义为绝对误差 Δx 与被测量真值 A_0 的百分比值, 用 γ_0 表示, 则

$$\gamma_0 = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

它仅反映相对误差的定义, 因被测量的真值无法得到, 没有实际应用意义。实际应用中, 通常采用实际相对误差, 实际相对误差是用绝对误差与被测量实际值的百分比值来表示, 即

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-8)$$

在例 1-1 中, Δx 为 0.002V, 被测电压的实际值 A 为 1.623V, 则

$$\gamma_A = \frac{0.002}{1.623} \times 100\% = 0.123\% \quad (1-9)$$

(2) 示值相对误差。

用绝对误差 Δx 与被测量的测量值 x 的百分比值来表示的相对误差称为示值相对误差, 即

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-10)$$

在例 1-2 中, 甲、乙两正弦信号频率测量示值相对误差 γ_1 、 γ_2 分别为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta f_1}{f_1} \times 100\% = \frac{1}{100} \times 100\% = 1\% \quad (1-11)$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta f_2}{f_2} \times 100\% = \frac{1}{10^6} \times 100\% = 0.0001\% \quad (1-12)$$

从式 (1-11) 和式 (1-12) 可以看出: 甲、乙两正弦信号频率测量的绝对误差相等, 但示值相对误差不等, 乙信号的示值相对误差远远小于甲信号的示值相对误差, 即对乙信号的测量准确度远高于甲信号。

(3) 满度相对误差。

满度相对误差是用绝对误差 Δx 与仪器满刻度值 x_m 的百分比值来表示的, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-13)$$

常用电工仪表准确度等级 S 就是用满度相对误差 γ_m 表示的, 如电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 5.0 七级。例如, 某电压表为 ± 0.1 级, 表示它的满度相对误差的绝对值不大于 0.1% 。根据满度相对误差定义可得

$$|\Delta x| \leq |x_m \times S\%| \quad (1-14)$$

例 1-3 用一台满度值为 $5A$, 1.5 级的电流表测量电路中的电流, 显示值为 $1.500A$, 求测量的示值相对误差。

解 根据式 (1-14) 测量的绝对误差为

$$|\Delta x| \leq 5A \times 1.5\% = 0.75A$$

则测量的示值相对误差为

$$|\gamma_A| \leq \frac{|\Delta x|}{A} \times 100\% = \frac{0.75}{1.500} \times 100\% = 5\%$$

3. 实验数据处理

在实验过程中测得的实验数据都要进行处理。常用的处理方法有误差位对齐法和有效数字表示法。

1) 误差位对齐法

仪器、仪表测量误差的小数点后面有几位, 则测量数据的小数点后面也应取几位。

例 1-4 用一块 0.1 级的电压表测量电路中某电阻两端的电压, 当量程为 $20V$ 时, 由 3 位同学分别测得的电压为 $12.53V$ 、 $12.57V$ 、 $12.56V$, 则该电压的平均值为多少?

解 该电压表在 $20V$ 挡的最大绝对误差为

$$\Delta x_m = x_m \times S\% = 20V \times 0.1\% = 0.02V$$

则该电压平均值小数点后也应取 2 位, 即

$$\bar{x} = \frac{12.53V + 12.57V + 12.56V}{3} = 12.55V$$

2) 有效数字表示法

(1) 数字的舍入规则。

为了使正、负舍入误差出现的概率大致相等, 通常采用近似古典四舍五入规则保留有效数字的位数。其规则为: 小于 5 舍, 大于 5 进, 等于 5 时看奇偶。具体舍入规定为: 以保留数字的末位为单位, 末位后面的数大于末位的 0.5 时, 末位进 1; 小于末位的 0.5 时, 末位不变; 等于末位的 0.5 时, 如果末位为奇数则末位进 1, 末位为偶数则末位不变。该舍入规则克服了古典四舍五入规则中, 末位后面的数刚好为末位的 0.5 时, 只入不舍的缺点。

(2) 有效数字。

测量中总是存在误差, 所以用以表示测量结果的数是近似数。当用这个数表示一个

量时，通常规定误差绝对值不得超过该近似数末位的半个单位，则该近似数从左边第一个不为零的数字到最末一位数为止的全部数字，称为有效数字。例如，末位数字是个位，则误差绝对值不大于 0.5，末位数字是十位，则误差绝对值不大于 5，如 0.03650 就是 4 位有效数字。有效数字的位数表达了一定的测量准确度，所以末位的零不能随便添减。例如，测量某信号频率，其测量结果是 50.560Hz，则表示测量误差绝对值不大于 0.0005 Hz，如果写为 50.56Hz，则表示测量误差绝对值不大于 0.005 Hz。

1.4 思 考 题

- (1) 试分析实验测量过程中主要误差来源及减小方法？
- (2) 什么是绝对误差？什么是相对误差？绝对误差和相对误差的区别和联系是什么？

第2章 常用电子仪器设备使用

在电子信息技术实验中，经常会使用一系列专用仪器和设备来测量和分析电子线路系统的静态和动态指标，并对一些常用的电子器件进行测试。熟悉仪器和设备的工作原理，掌握其基本功能和操作，正确选择合适的电子器件，是顺利开展各项实验的基础和前提。图 2-1 展示了常用电子仪器在电路测试中的一般连接示意。

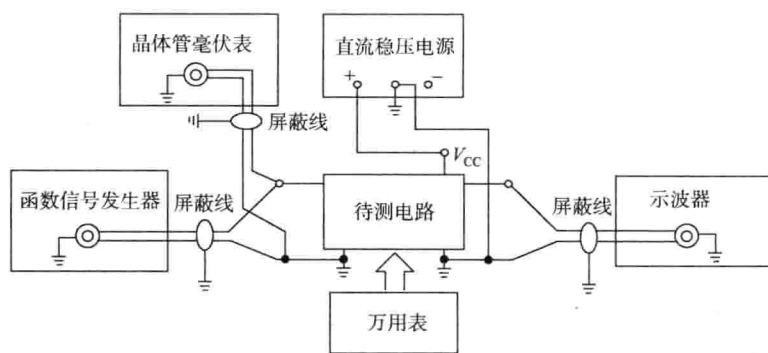


图 2-1 电子线路系统测试仪器一般连接示意图

本章将对图中涉及的示波器、函数发生器、直流稳压电源、晶体管毫伏表、万用表等的原理、功能和使用进行详细讲述。

2.1 示波器

2.1.1 示波器的基本原理

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器，主要用来观察信号的波形。本部分主要分析阴极射线管（cathode ray tube, CRT）示波器，其主要由主机、Y 通道（垂直通道）和 X 通道（水平通道）三部分组成，其内部结构如图 2-2 所示。

1) 主机部分

示波器的主机部分又包括示波管、Z 通道、校准信号源和电源四部分。示波管可理解成示波器的密闭显示器，里面由电子枪从 Z 轴打出电子，穿过由 X、Y 两轴偏转极板所部署的电场，射在荧光屏上发出辉光。Z 通道是电子射出的通道，可用来传输和增大辉光信号。校准信号源是一个幅度和频率准确的已知内部信号源，用以校准示波器的 X、Y 轴刻度，也可作为标准信号源输出使用。电源部分为示波器内部各基本电路提供低压电源，为示波管电路提供高压电源。

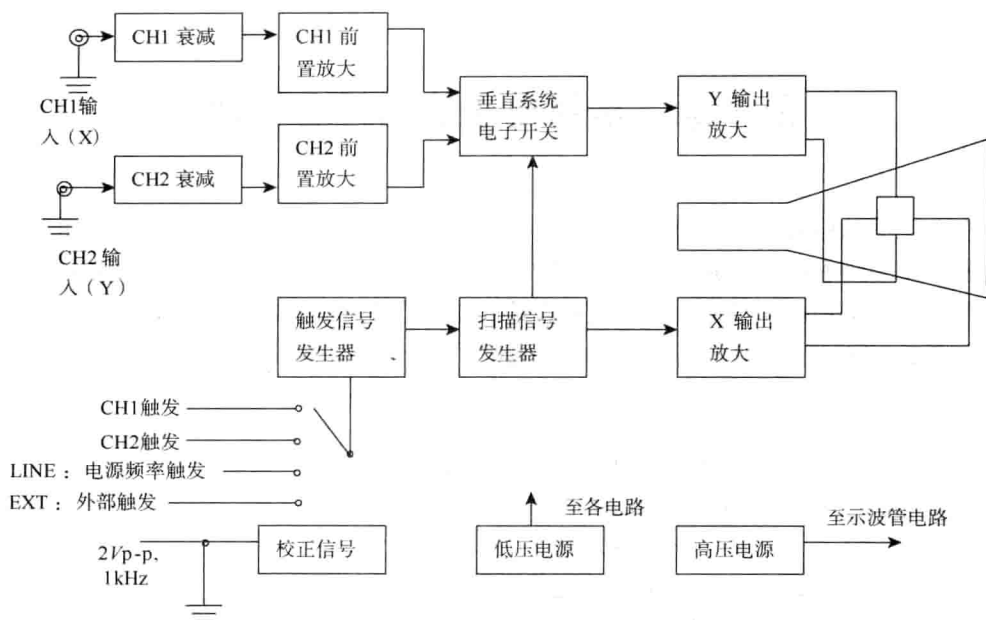


图 2-2 示波器原理框图

2) Y 通道

Y 通道是被测信号的主要传输通道, 它使示波器屏幕上的 Y 轴坐标正比于信号的电压瞬时值。Y 通道同时产生一个内触发(同步)信号去控制 X 通道, 使 X 通道内的扫描发生器产生的锯齿波信号与被测信号同步。

3) X 通道

X 通道为示波器产生与触发信号有固定时间关系的锯齿波电压(或称为扫描电压)。这个电压加到示波器的 X 轴偏转板上, 使电子束沿水平方向随时间线性偏移, 形成时间基线。

4) 波形显示原理

当示波管的垂直和水平偏转板都没有加电压时, 电子束穿过它们之间将不发生偏转, 直接射至荧光屏, 而在其中心位置上出现一个亮点。如果只在垂直偏转板上加电压, 则电子束受电场力作用而发生垂直偏转, 这时亮点沿垂直方向移动。同理, 如果只在水平偏转板上加直流电压, 亮点将在水平方向移动, 偏移的距离与加在两偏转板上的电压成正比。当两对偏转板上同时加直流电压时, 亮点将按电场合力的方向移动。因此, 只要在两对偏转板上加不同极性、不同大小的直流电压, 亮点就能显示在屏幕的任何位置上。示波器面板上的“垂直位移”和“水平位移”旋钮就是调节这两对偏转板上直流电压的电位器。

由于偏转板上的电压能控制电子束在荧光屏上移动的轨迹, 即亮点显示在荧光屏上的位置。若在示波器的 Y 轴输入端加上一个正弦电压信号 U_Y , 电子束的垂直偏转距离则正比于正弦信号的瞬时值; 同时再在示波管的水平偏转板上加上一个锯齿波电压信号 U_X , 因电子束的水平偏转距离正比于时间, 这样, 在示波管的屏幕上就会显示出正弦信号的波形。

2.1.2 示波器的功能按钮说明

下面以模拟双踪示波器 GOS-630FC 为例说明示波器的基本使用, 该示波器面板示意图