



普通高等教育“十二五”规划教材

电路电子实验 实训指导书

主 编 冯伯翰 周泽湘 邱志明
主 审 詹训进



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

电路电子实验实训指导书

主 编 冯伯翰 周泽湘 邱志明

主 审 詹训进



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是根据高职院校实验实训课程基本要求编写的。

本教材是电路电子实验实训讲解。共分五章，主要包括电子电路实验基础知识，模拟电子基础实验，数字电子电路基础实验，电路基础实验和电子产品制作。为突出实践应用，编者将验证型、基本应用型项目分散在基础实验中，以期达到强化动手能力，提高职业素质的目的。为使读者阅读方便，编者将仪器图形、使用方法、数字器件引脚图和逻辑功能表分散在具体的各个实验中，方便读者查阅。

本教材以高职教育为特点，以理论够用、着眼应用为原则，通过实例引入、不断拓宽思路的方法介绍电路电子实验实训基本知识和基本应用。本书可作为高职院校电类专业的电路、电子实验实训教学用书。

图书在版编目（C I P）数据

电路电子实验实训指导书 / 冯伯翰, 周泽湘, 邱志明主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0110-2

I. ①电… II. ①冯… ②周… ③邱… III. ①电子电路—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第204901号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 电路电子实验实训指导书
作 者	主编 冯伯翰 周泽湘 邱志明 主审 詹训进
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字
版 次	2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	24.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本教材是根据高职院校实验教学基本要求，结合这几年教学改革实际经验编写而成。实验实训是实践教学中的重要环节，本教材将基础理论与实际操作有机地结合，加深学生对所学理论课程的理解，逐步培养创新能力和理论联系实际的能力。

高职院校是培养高级应用型职业技术人才，培养具有专业技能、创新意识、创业能力的现代人才。我们是以“培养学生的实验实训能力，提高学生的动手能力和综合素质”这一根本目的为主线来编写本教材的，以使學生获得一定系统性的电路电子实验实训基本知识，基本方法，基本技能。

在各章实验实训内容的编写中，原理部分着重思路的引导，突出了从提出问题到解决问题的逻辑思维过程；实验实训步骤详略得当，能给学生一定的思考余地。在每个实验实训课题后一般都列有思考题和讨论题，以期引导学生实验实训前的预习和课后的分析讨论及巩固提高。在涉及仪器介绍时，尽量突出仪器的基本原理与使用方法。书中几种常用仪器的外观是用 PR-TEL DXP 画出来的，采用以画电路和仿真见长的软件来画仪器图形而不是用相机拍仪器外观，想借此告诉读者学知识要善于钻研，要有悟性。

本教材将实验实训教学环节分为三个层次：验证型、基本应用型、综合实训型。为突出实践应用，编者将验证型、基本应用型项目分散在基础实验中，以期达到强化动手能力，提高职业素质的目的。本教材的实验实训内容是长期实践教学的总结、实验实训课题均得到了验证，教材突出了应用性、针对性。

本教材由冯伯翰、周泽湘、邱志明主编并完成全书的统稿。本教材由詹训进主审，在此表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者能力水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编者

2012年6月

前言

第一章 电子电路实验基础知识	1
第一节 电子电路实验的目的与要求	1
第二节 实验室的安全操作规程	2
第三节 实验室中常用的电子测量仪器	3
第四节 电子测量中的误差分析	11
第二章 模拟电子基础实验	14
第一节 实验 常用电子仪器的使用	14
第二节 实验 二极管整流、滤波电路	15
第三节 实验 三极管基本放大电路	20
第四节 实验 两级电压串联负反馈放大器	24
第五节 实验 集成运算放大器的基本应用（Ⅰ）——模拟运算电路	27
第六节 实验 集成运算放大器的基本应用（Ⅱ）——占空比可调的方波发生器	30
第七节 实验 音频功率放大器特性综合测量（实验板1）	32
第八节 实验 集成低频功率放大器（实验板2）	36
第九节 实验 差分放大电路	38
第十节 实验 场效应管主要特性参数测量	41
第十一节 实验 晶闸管的导通与关断条件	47
第十二节 实验 晶闸管整流电路（阻性、感性负载）	50
第十三节 实验 晶体三极管输出特性图示测量	52
第十四节 实验 场效应管基本放大电路	57
第三章 数字电子电路基础实验	61
第一节 实验 门电路	61
第二节 实验 组合逻辑电路Ⅰ（半加器、全加器）	62
第三节 实验 组合逻辑电路Ⅱ（译码器和数据选择器）	65
第四节 实验 组合逻辑电路的设计	67
第五节 实验 译码器	69
第六节 实验 数据选择器及其应用	73
第七节 实验 触发器及其应用	77
第八节 实验 计数器及其应用	84

第九节 实验 移位寄存器及其应用	88
第十节 实验 脉冲分配器及其应用	93
第四章 电路基础实验	98
第一节 实验 电位、电压、功率的测量	98
第二节 实验 电阻、电容、电感伏安特性的测试	100
第三节 实验 基尔霍夫定律的验证	102
第四节 实验 有源网络测试	103
第五节 实验 一阶电路的暂态特性	106
第六节 实验 正弦交流电量测量	108
第七节 实验 功率因数的提高	112
第八节 实验 电流表、电压表内阻测量、量程扩展	114
第五章 电子产品制作	119
第一节 焊接方法与焊接要领	119
第二节 自制的实验平台	121
第三节 数字钟实训	123
第四节 555 时基电路的三态实训	145
附录一 设计型实验的实验报告格式	154
附录二 电位、电压、功率的测量（实验报告）	156
附录三 电阻、电容、电感伏安特性的测试（实验报告）	158
附录四 基尔霍夫定律的验证（实验报告）	160
附录五 有源网络测试（实验报告）	161
附录六 一阶电路的暂态特性（实验报告）	162
附录七 正弦交流电量测量（实验报告）	163
附录八 功率因数的提高（实验报告）	164
附录九 电压（电流）增益比与分贝值对照表（功率比=电压比 ² 或电流比 ² ） 及应用举例	165
附录十 万用表原理、结构及基本功能	167
参考文献	176

第一章 电子电路实验基础知识

第一节 电子电路实验的目的与要求

一、电子电路实验的目的

本教材讲解了验证性实验中常用的基本测试方法、测量原理、电子线路的分析与设计方法及常用仪器的原理和使用。通过本实验课培养学生理论联系实际的能力；分析、判断并排除故障的能力；正确使用电子仪器完成测试及分析的能力；独立设计并安装调试电路的能力；分析问题、解决问题的工程实践能力；分析整理数据、拟定实验报告的能力。学生在实验室借助于专门的设备，依据一定的理论，通过实验的方法取得测量结果。

二、电子电路实验的一般要求

本课程以基础性实验内容为主，强调理论与实践的结合；重视基本实验技能和综合应用能力的培养。要求分别在实验课前、课中、课后做到课前预习准备、课中操作记录、课后分析总结。

1. 课前预习准备

- (1) 明确实验目的。
- (2) 清楚实验原理。
- (3) 提前进行仿真分析。
- (4) 准备实验电路，根据实验设计内容，自行设计、焊接、组装实验电路。
- (5) 准备测试方案，制定最佳的测试方案，选择合适的测试仪器，准备好实验数据记录图表。

2. 课中操作记录

- (1) 构建实验测试平台。
- (2) 观察实验现象与结果。
- (3) 记录实验数据与波形。

3. 课后分析总结

- (1) 处理实验数据，绘制图表和波形。对实验数据进行科学的分析与处理。
- (2) 实验结果与分析。根据实验结果，用课程理论与实验结果进行分析比较，得出实验结论。
- (3) 讨论与心得。完成思考题，对实验方法、实验结果进行讨论，记录实验的收获和体会，也可对实验电路和测试方法提出改进方案。



三、设计型实验的实验报告格式

报告使用实验报告纸撰写，报告格式见附录一，报告成绩为百分制，报告在实验完成4天内上交（具体时间以授课教师通知为准，无故不能按时交实验报告的，其实验成绩不能超过70分）。

第二节 实验室的安全操作规程

一、实验守则

应遵守以下各项实验室各项规章制度：

- (1) 上课前须签到，根据座位表对号入座。
- (2) 无故旷课累计3次，本课程需重修。
- (3) 发现仪器有问题，报告老师，确认后到值班室调换。
- (4) 请保持实验室清洁，勿乱丢废弃物。
- (5) 实验任务完成者，在老师验收后可提前离开实验室。
- (6) 离开实验室，务必关闭实验设备的电源，整理好实验设备并搞好环境卫生。

二、人身安全

在电子技术实验中，为保障实验者的人身安全，实验者必须遵守以下规则：

- (1) 实验前应清楚电源开关、熔断器、插座的位置，了解其正确操作方法，并检查其是否安全可靠。
- (2) 检查仪器设备的电源线、实验电路中有强电通过的连接线等有无良好的绝缘外套，其芯线不得裸露。
- (3) 实验过程中一定要养成良好的操作习惯，实验前先接实验电路后接通电源，实验完毕后先切断电源后拆实验电路。
- (4) 若实验时发生触电事故或其他异常现象，不要惊慌失措，应立即切断电源。电源开关较远时，可使用绝缘器具将电源切断，使触电者立即脱离电源，并保护现场，由指导教师检查事故原因。

三、仪器、设备的安全

为防止在实验时损坏仪器设备与实验装置，实验时应遵守以下安全规则：

- (1) 在使用仪器设备前，应先了解其性能和操作方法，按操作程序正确使用。切不可不懂装懂，盲目操作。
- (2) 要树立爱护公物的良好习惯，实验中不得随意扳动、旋转仪器面板上的旋钮和开关，需要使用时扳动或旋转也不要用力过猛。不得乱动与本次实验无关的仪器和设备。
- (3) 实验时注意力要集中，随时观察仪器及实验电路的工作情况。如发现异常现象，应立即切断电源，待查明原因并排除故障后，方可重新通电。
- (4) 仪器设备使用完毕后，应关掉电源开关，同时将面板上各旋钮、开关置于合适的位置。

第三节 实验室中常用的电子测量仪器

一、示波器及其应用

(一) 示波器的功能与分类

示波器的主要作用是把电信号的过程用图形显示出来，它不仅可用来观察电压、电流的波形，测定电压、电流、功率，而且还可以用来测量频率、相位等，并可以用于调幅度等参数。示波器的种类很多，大致可分为两种：一是通用示波器；另一种是专用示波器。

(二) 示波管的结构

示波器与其他仪器不同的最大特点是有一个图形显示器，称为示波管。常用的是阴极射线示波管。

阴极射线示波管从偏转方式构造上划分，可分为静电式和电磁式两大类。但其基本组成部分是一样的。静电式示波管的内部结构主要由电子枪、偏转系统、荧光屏三大部分组成。如图 1-3-1 所示。

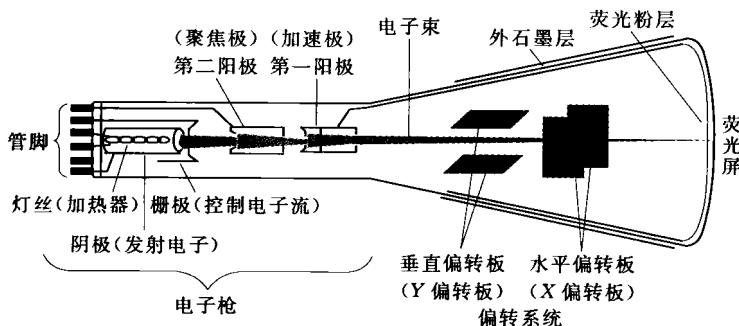


图 1-3-1 阴极射线示波管

1. 电子枪

电子枪主要由灯丝、阴极、控制栅极、第一阳极和第二阳极组成。灯丝通电加热阴极，阴极温度升高而产生电子束，再由各阳极对其加速而打向荧光屏。由栅极控制电子的数量而使荧光屏的亮度发生变化。

2. 偏转系统

偏转系统由两对互相垂直的偏转板组成，一对称为垂直 Y 偏转板，另一对称为水平 X 偏转板，它们的作用是控制电子束的水平与垂直运动，以扫描的方式打向荧光屏形成运动的亮点而构成相应的图示波形，示波管中的电子束同时受到 X 和 Y 两对偏转板的作用，在两对偏转板上的电压 U_x 和 U_y 共同的作用下决定光点在荧光屏上的位置，利用这一特点还可以把示波器变为一个 X—Y 图示仪，使示波器的功能得到扩展。

3. 荧光屏

荧光屏由一层荧光粉物质涂抹在前面的玻璃外壳内壁构成，电子束打在荧光粉上后就产生荧光亮点现象，在偏转系统的作用下形成图形。

(三) 示波显示的原理

1. 扫描的概念

在 X 偏转板上加上一个随时间变化的扫描电压, 光点作水平运动而产生水平亮线, 如果同时在 Y 偏转板上加上一个被测信号电压, 光点则会在垂直方向运动反映被测信号电压的大小, X 偏转板和 Y 偏转板共同作用便描绘出被测信号随时间变化的波形, 该波形反映了被测信号随时间变化的规律性。

2. 信号与扫描电压同步

扫描电压周期是被观察信号周期的整倍数时, 当前扫描周期与前一个周期图形完全一样, 荧光屏上才能得到清晰而稳定的波形, 称为被测信号与扫描电压同步。

(四) 模拟通用示波器的基本组成

模拟通用示波器的基本组成如图 1-3-2 所示

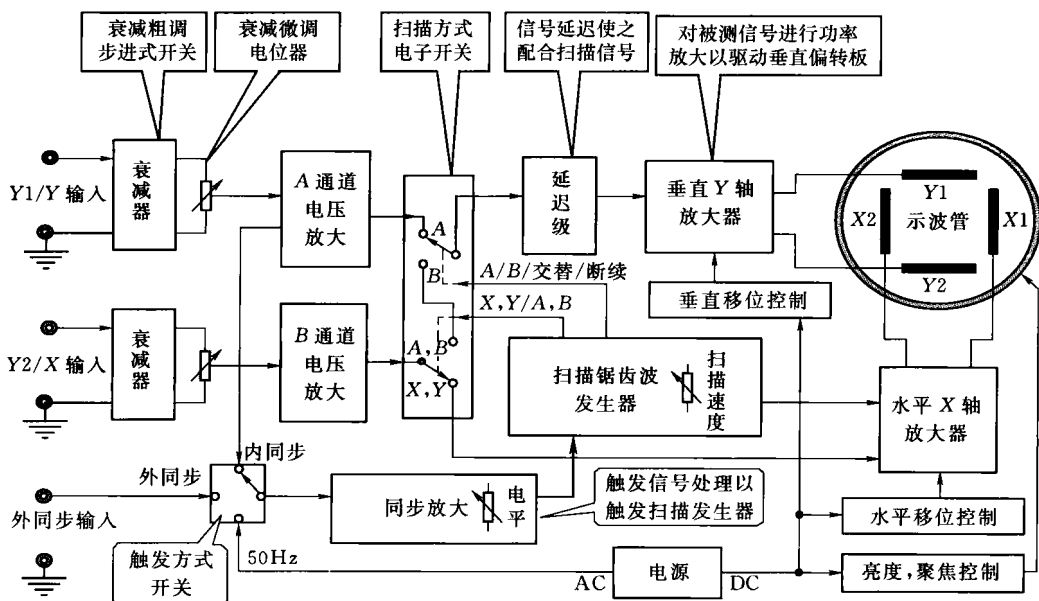


图 1-3-2 双踪示波器基本结构方框图

1. Y 轴通道

示波器 Y 轴通道主要由输入电路、前置放大器、延迟级和输出放大器等组成。它的主要作用是：把被测信号变换成为大小合适的双极性对称信号后加到 Y 偏转板上, 使显示的波形适于观测；向 X 通道提供内触发信号源；补偿 X 通道的时间延迟, 以观测到诸如脉冲等信号的完整波形。

(1) 输入电路。输入电路由探极、耦合方式选择开关、衰减器、阻抗变换及倒相放大器组成, 如图 1-3-3 所示。

1) 探极。用于被测信号与示波器连接。通常包括有“ $\times 1$ ”和“ $\times 10$ ”开关。被测信号与示波器的连接可以选用引线或附带的探极, 通常选用高频特性良好、抗干扰能力强的高输入阻抗探极。

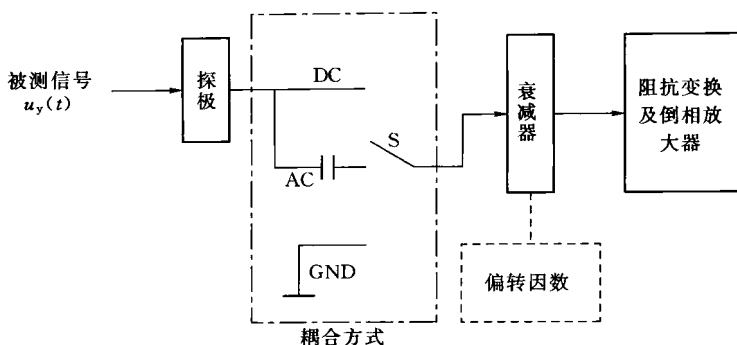


图 1-3-3 Y 轴通道输入电路

探极分为有源探极和无源探极两种，探极中通常设置有衰减器。有源探极具有良好的高频特性，衰减比为 1 : 1，适于测试高频小信号，但需要示波器提供专用电源，应用较少。应用较多的是无源探极，衰减比（输入/输出）有 1 : 1、10 : 1 和 100 : 1 三种，前两种的应用比较普遍，后一种通常用于高压测量。当探极衰减比为 10 : 1 或 100 : 1 时，被测电压值是示波器测得电压的 10 倍或 100 倍。

2) 耦合方式选择开关。有 AC、DC、GND 三个挡位。

AC 交流耦合输入方式：被测信号中只有交流分量能输入。

DC 直流耦合输入方式：被测信号中交直流分量都能输入。

GND 耦合输入方式：在不断开被测信号的情况下，GND 耦合为示波器提供测量直流电压的参考零电平。

3) 衰减器。改变衰减器衰减比，也就改变了示波器偏转因数，从而使显示波形的幅度得以调整。

4) 阻抗变换及倒相放大器。其作用是将来自衰减器的单端输入信号变换为后级差分放大器所需的双端输出信号，以克服放大器零点漂移的影响；提高放大器输入阻抗；隔离前后级的影响；提供 Y 轴偏转板所需的对称信号。

(2) 前置放大器。前置放大器的作用是对输入级输出信号进行初步放大，补偿延迟级对信号的损耗；为 X 轴通道的触发电路提供大小合适的内触发信号，以得到稳定可靠的内触发脉冲。

(3) 延迟级。由于 X 轴通道的内触发信号由被测信号来触发，被测信号从 0 值上升到能触发的电平需要一定时间，这样就导致扫描电压落后于被测信号一段时间而导致被测信号的前段无法显示，为了能够完整显示被测信号波形，可在 X 轴通道中设置延迟级对被测信号延迟 100ns 左右。

(4) 输出放大器。被测信号经前置放大后进行时间延迟，再由输出放大器（垂直 Y 轴放大器）进行功率放大，得到足够的幅度驱动垂直偏转板使电子束作上下移动。

(5) Y 轴移位旋钮。也称作垂直移位，在上下 Y 轴偏转板上叠加互为对称的直流电压，会使显示波形整体向上或向下移位。

2. X 轴通道

X 轴通道由触发电路、扫描信号发生器和 X 轴放大器组成，在内触发或外触发信号

的作用下输出大小合适、与时间成线性关系的、周期性的双端对称扫描电压，经 X 轴放大器放大后加到水平偏转板驱动电子束进行水平扫描。

(1) 触发电路。选择触发源并产生可靠的触发信号去触发扫描发生器产生扫描电压，包括以下的功能控制设置：

1) 触发源选择开关。可以选择内触发 (INT)、外触发 (EXT) 和电源触发。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 CH1、CH2 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。

2) 触发耦合选择开关。可以选择直流耦合 (DC)、交流耦合 (AC)、低频抑制耦合 (ACH)、高频耦合 (HF)。DC 耦合即直接耦合，常用于外触发或连续扫描方式；AC 耦合是一种常用的方式，因 C_1 的接入，适于低频到高频信号的触发。(ACH) 为低频抑制耦合， C_1 和 C_2 串联，阻抗增大，有利于抑制工频干扰等的低频干扰。HF 为高频耦合，耦合电容较小，适于 5MHz 以上信号的观测。

3) 触发方式选择开关。可以选择以下几种触发方式：

a. 常态触发。适用于观察脉冲信号。

b. 连续触发。始终产生扫描信号。

c. 自动触发。无触发信号时，扫描电压由自激振荡产生扫描信号，荧光屏显示一条时基线（水平亮线）；有触发信号时，扫描电压由触发信号控制扫描周期使扫描频率与被测信号同步，即被测信号与扫描信号的频率成整倍数关系。

d. 高频触发。适用于观察高频信号。

e. 单次触发。适用于观察单次瞬变和非周期性信号。

4) 触发电平调节旋钮。触发电平调节用于调节合适的触发电平点，用于控制扫描电压的起始时刻（波形的起点），使波形显示稳定。

5) 斜率选择开关。即触发极性选择开关，用于选择是由上升沿（+）还是下降沿（-）触发扫描信号。在荧光屏上表现为两者所得到显示波形的相位不同。

(2) 扫描信号发生器。又称为时基电路，用于产生线性良好的锯齿波电压，还为示波管提供正常工作所需要的亮度控制电压、消隐脉冲和（双踪）交替显示时的控制信号。

(3) 扫描速度调节器。步进式开关（t/div）和连续微调旋钮（标准、调节范围）改变加到示波管 X 轴偏转板上扫描电压的大小，从而改变显示波形的宽度。

(4) X 轴放大器。当示波器工作在用于被测信号波形显示方式时，对内部扫描电压进行双端放大；当示波器工作在“X-Y”方式时，对外部输入的 X 信号电压进行放大，输出电压加到水平偏转板以驱动示波管的电子束进行水平扫描。

(5) 水平移位旋钮。调节、控制叠加幅度可调、极性可变的直流电压，使显示的波形能够水平移位。

3. 电源部分

电源部分向示波管提供阳极、聚焦极、加速极电压和灯丝电压以及其他单元电路正常工作所需要的各种正/负电源。

(五) 双踪示波器的主要功能与使用方法

1. 输入显示方式

双踪示波器是最常用的通用示波器，具有 2 个被测信号输入端口（通道 1、CH1、Y1/Y）、（通道 2、CH2、Y2/X），一般有 5 种输入显示方式。

- (1) 单踪显示 Y1 (CH1) 的波形。
- (2) 单踪显示 Y2 (CH2) 的波形。
- (3) 叠加显示 (CH1+CH2) 实现两个信号“和”或“差”的一个波形显示。
- (4) 交替显示 (ALT) 实现轮流扫描 2 个信号的 2 个波形同时显示。
- (5) 断续显示 (CHOP) 适用于同时观察频率较低的 2 个信号波形。

2. 各旋钮及开关的功能

双踪示波器主要有辉度旋钮、聚焦旋钮、偏转灵敏度开关和 Y 轴移位旋钮；触发方式开关、触发电平旋钮、触发极性开关、扫描速度开关和 X 轴移位旋钮。

- (1) 辉度旋钮。改变荧光屏上亮点的明暗度。
- (2) 聚焦旋钮。使电子束的焦点正好落到荧光屏的平面上，以能得到精细的亮点。
- (3) 偏转灵敏度 (V/div) 开关。改变被测信号电压加到示波管 Y 偏转板上电压的大小，从而改变显示波形的幅度。
- (4) Y 轴移位旋钮。Y 轴移位也称为垂直移位，在上下 Y 偏转板上叠加互为对称的直流电压，会使显示波形整体向上或向下移位。
- (5) 触发方式开关。用于改变示波器的扫描触发方式，一般有：①常态触发，此时只有在有触发信号时荧光屏才有扫描图形；②自动触发，当没有触发信号时荧光屏出现一条时基线，适用于观察低频信号；③高频触发，适用于观测高频信号；④单次触发，适用于观测单次瞬变与非周期性信号。

- (6) 触发电平旋钮。选择合适的触发点，可以使得显示的波形稳定。

- (7) 触发极性开关。用于选择是由上升沿（+极性）还是下降沿（-极性）进行触发，两者所得到的显示波形的相位不同。

- (8) 扫描速度 (t/div) 开关。改变加到示波管 X 偏转板上扫描电压的大小，从而改变显示波形的宽度。

- (9) X 轴移位旋钮。也称为水平移位，在左右 X 偏转板上叠加互为对称的直流电压，会使显示波形整体向左或向右移位。

3. 测量正弦信号的幅值和频率

把信号发生器的 (A) 端口输出连接到电子毫伏表和示波器的输入端口（示波器的扫描时间为 1ms/div，偏转灵敏度为 10 mV/div，触发方式为自动，输入方式为 AC，电子毫伏表 200mV 挡）。

- (1) 测量仪器连接方法。测量线路由三台仪器连接，如图 1-3-4 所示，分别为：XJ4312 型 (20MHz) 双踪示波器、KH-1 数控函数信号发生器和 KH-DV1 数字式交流毫伏表。

$$U_{\text{有效值}} = \frac{U_{\text{P-P}}}{2\sqrt{2}} = \frac{U_{\text{P-P}}}{2} \times 0.707$$

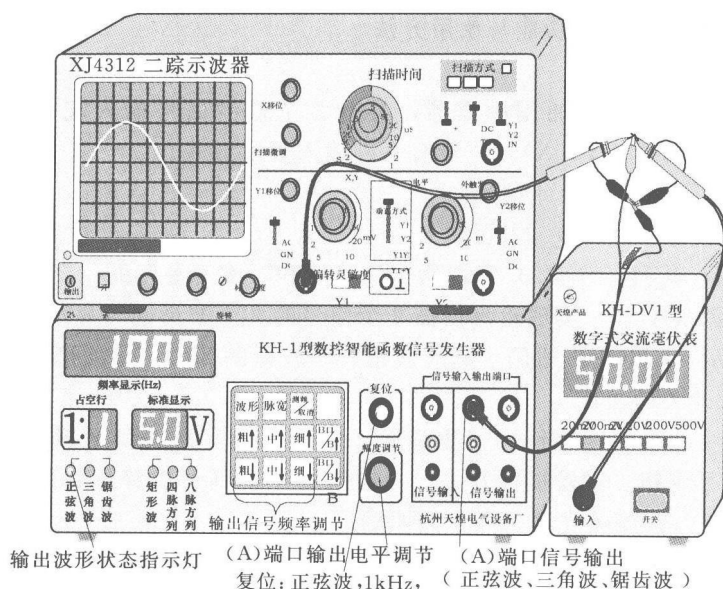


图 1-3-4 仪器连接方法

(2) 测量频率的方法。测量频率的方法有周期法、李沙育图形法(图 1-3-6)和椭圆扫描法等,在此仅讨论周期法、李沙育图形法。

1) 周期法。用周期法测量时,根据周期、频率之间的关系,首先测量出周期,然后再换算出被测信号的频率。为了减小测量误差,可采用多个周期测量求平均值的方法测量周期。

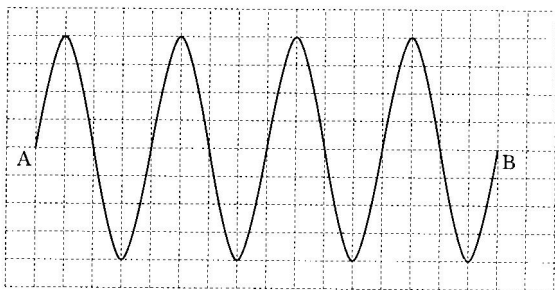


图 1-3-5 [例 1-3-1] 波形图

【例 1-3-1】 已知示波器扫描速度开关挡(时基因数)为 2ms/div, 扫速扩展为 10, 求图 1-3-5 所示的被测信号的频率。

解: 利用多周期测量法, 据题意得, 四个周期宽度 $L=16\text{div}$, 时基因数 $D_x=2\text{ms/div}$, 扫速扩展 $K'=10$ 。

被测信号周期为

$$T = \frac{LD_x}{4K'} = \frac{16\text{div} \times 2\text{ms/div}}{4 \times 10} = 0.8\text{ms}$$

被测信号频率为

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.8\text{ms}} = 1.25\text{kHz}$$

2) 李沙育图形法。用李沙育图形法测量频率时, 示波器工作于 X—Y 方式下, 频率已知的信号与频率未知的信号加到示波器的两个输入端, 调节已知信号的频率, 使荧光屏上得到李沙育图形, 由此可测出被测信号的频率。

示波器工作于 X—Y 方式时, X、Y 两信号对电子束的作用时间总是相等的, 而且

X、Y 信号分别确定的是电子束水平、垂直方向的位移，所以信号频率越高，波形经过垂直直线、水平线的次数越多（如正弦波每个周期经过两次），即水平线、垂直线与李沙育图形的交点数分别与 X、Y 信号频率成正比。因此，李沙育图形存在以下关系：

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_H}{N_V} \quad (1-3-1)$$

式中 N_H 、 N_V ——水平线、垂直线与李沙育图形的交点数；

f_y 、 f_x ——示波器 Y、X 信号的频率。

事实上，垂直线（或水平线）与李沙育图形的切点数（或）也与 X（或 Y）信号频率成正比，即

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N'_H}{N'_V} = \frac{N_H}{N_V} \quad (1-3-2)$$

【例 1-3-2】 如图 1-3-6 所示的李沙育图形，已知 X 信号频率为 6MHz，问 Y 信号的频率是多少？

解： 分别在李沙育图形上画出垂直线和水平线，则 $N_H = 2$ 、 $N_V = 6$ ，或 $N'_H = 1$ 、 $N'_V = 3$ 。注意必须在交点数最多的位置画线。由式（1-3-2）得

$$f_y = f_x \frac{N_H}{N_V} = 6\text{MHz} \times \frac{2}{6} = 2\text{MHz}$$

或

$$f_y = f_x \frac{N'_H}{N'_V} = 6\text{MHz} \times \frac{1}{3} = 2\text{MHz}$$

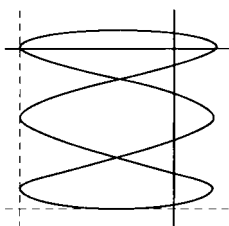


图 1-3-6 李沙育图形

李沙育图形法适合测量频率比在 1:10 和 10:1 之间的信号频率，否则，波形显示复杂，难以确定交点数或切点数，给调整和测量带来困难。

二、万用表及其应用

1. 万用表

万用表可分为指针式万用表和数字式万用表，是一种多功能、多量程的便携式电工仪表。一般万用表可以用来测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻值等，有些万用表还可测量电容、频率、晶体管共射极直流放大系数 h_{FE} 等。万用表是电工必备的工具。

指针式万用表的结构主要由表头、转换开关、测量线路等组成。表头是高灵敏度的磁电式直流电流表，属于测量的显示装置；转换开关用来选择被测电量的种类和量程；测量线路将不同性质和大小的被测电量转换为表头所能承受的直流电流。

2. 万用表的表盘、转换开关、旋钮和插孔

由于万用表型式很多，在使用前要做好测量的准备工作：熟悉转换开关、旋钮、插孔等的作用。

(1) 表盘标注的“ π ”表示水平放置使用，“ $\perp$ ”表示垂直放置使用。

(2) 了解刻度盘上每条刻度线所对应的被测电量：CDV 表示直流电压、CDA 表示直流电流、ACV 表示交流电压、 Ω 表示电阻值。

(3) 把红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔。

(4) 有些万用表另有交直流 2500V 高压测量端，在测高压时黑表笔不动，将红表笔

插入高压插口，转换开关置于最高电压挡进行测量。

(5) 机械调零时，旋动万用表面板上的机械零位调整螺丝，使指针对准刻度盘左端的“0”位置。

(6) 电阻调零时，把表笔短接，旋动万用表上的电阻调零旋钮，使指针对准刻度盘右端的“0”位置（新用的万用表需要安装内部电池才能工作）。

3. 万用表的主要功能和使用方法

用万用表进行电压测量时，把表笔接到被测电压的两端，直流电压测量时红表笔接高电位，黑表笔接低电位端。进行电流测量时，要把表笔串联到电路中。进行电阻阻值测量时，把表笔接到被测电路或电阻器的两端。用万用表可以测量如下参数：

(1) 测量直流电压。

(2) 测量交流电压。

(3) 测量直流电流。

(4) 测量电阻阻值。注意此时不能测量带电物体！

一般来说，在选用电压表时，除了要选择量程、频率范围、误差和输入阻抗合适的电压表外，还应注意：①调零，测量电压之前应注意检查指针是否处在零位，否则应进行机械调零或电气调零，必要时还要注意通电预热；②量程选择，除非所用电压表为非线性刻度的电压表或者被测信号是特殊信号，例如，均值电压表测量噪声电压时的指针要求指在满度值的 $1/2$ 处，一般情况下，应尽量使指针处在量程满刻度值的 $2/3$ 以上区域。如果事先不知道被测电压的大小，可以先从大量程开始，再逐步减小量程，直至量程合适为止。

4. 电压的表征量

电压的表征量包括平均值、峰值、有效值 U 。

(1) 平均值。简称为均值，是指波形中的直流成分，所以纯交流电压的平均值为零。

(2) 峰值。交流电压的峰值是指交流电压在一个周期内（或一段时间内）以零电平为参考基准的最大瞬时值，记为 U_P ，分为正峰值 U_{P+} 和负峰值 U_{P-} 。

一般情况下，正峰值和负峰值并不相等，峰值与振幅值 U_m 也不相等，这是因为振幅值是以电压波形的直流成分为参考基准的最大瞬时值。

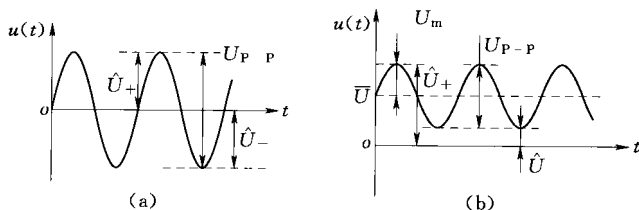


图 1-3-7 交流电压的峰值、振幅值

对于双极性对称的纯交流电压，数值上存在以下关系：

$$U_{P+} = U_{P-} = U_m$$

(3) 有效值 U 。交流电压的大小通常是指它的有效值 U ，有效值又称为均方根值，是根据它的物理定义来确定的。数学计算

式为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

交流电压各量如图 1-3-7 所示。



第四节 电子测量中的误差分析

一、测量误差产生的原因及其分类

电子测量仪器的误差是指由于受测量仪器等因素的影响而产生的测量误差，是误差的主要来源，也是电子测量仪器的一项重要质量指标，主要包括以下几种。

1. 固有误差

固有误差是指在基准工作条件（见表 1-4-1）下，由于仪器本身而产生的容许误差。它大致反映了仪器的最高测量精度，通常用于仪器误差的检验和比对。

表 1-4-1 IEC（国际电工委员会）推荐的基准工作条件

影响量（影响因素）	基准数值或范围	公差
环境温度	20℃，23℃，25℃，27℃。未指明时为 20℃	±1℃
相对湿度	45%~75%	
大气压强	101kPa	
交流供电电压	额定值	±2%
交流供电频率	50Hz	±1%
交流供电波形 ^①	正弦波	$\beta \leq 0.05$
交流供电电压 ^②	额定值	$\Delta U/U_0 \leq \pm 1\%$
通风	良好	
太阳辐射效应	避免直射	
周围大气速度	0~0.2m/s	
振动	测不出	
大气中沙、尘、盐、污染气体或水蒸气、液态水等	均测不出	
工作位置	按制造厂规定	

① β 称为失真因子，交流供电波形应保持在 $(1+\beta)\sin\omega t$ 与 $(1-\beta)\sin\omega t$ 所形成的包络之内。

② ΔU 为纹波电压峰-峰值， U_0 为直流供电电压额定值。

2. 基本误差

基本误差是指在正常工作条件（见表 1-4-2）下，由于仪器本身而产生的容许误差。与基准工作条件相比，仪器在正常工作条件下的工作环境较差。

表 1-4-2 IEC 推荐的正常工作条件

规定条件	数值或范围及其他要求	规定条件
环境温度	(20±5)℃	外界电磁场干扰
相对湿度	(65±15)%	外界机械振动和冲击
大气压强	(750±30)mmHg	仪器负载、输入、输出功率、电压、频率等
交流供电电压	额定值±2%（额定值）	