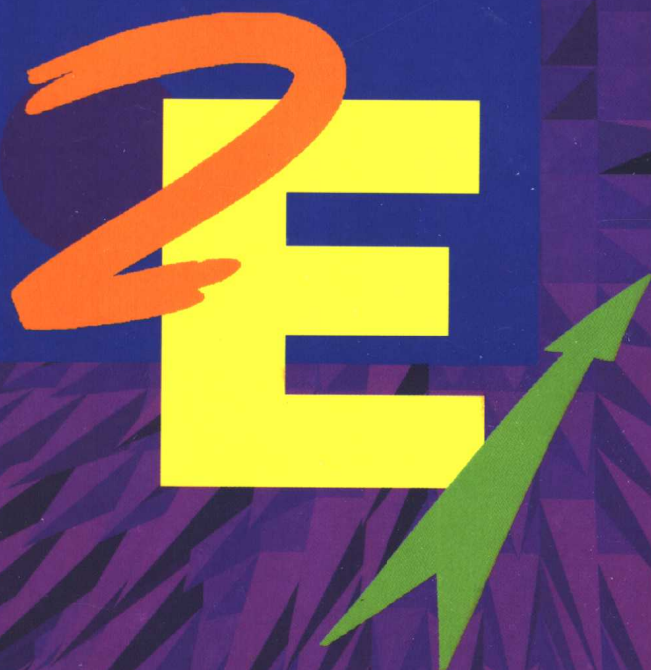


21世纪电学科高等学校教材

电路与电子技术实验教程

陆静霞 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪电学科高等学校教材

电路与电子技术实验教程

主 编 陆静霞

副主编 步春媛 李 询 陈彩蓉

主 审 刘德营



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据电路、电子技术实验教学大纲的实际要求,总结了电路、电子技术实验方面的教学经验,介绍了电路、电子技术中重要且常用的验证性和设计性实验。本书主要内容包
括:电路与电子技术实验基础知识、电路实验、电子技术模拟部分实验、电子技术数字部分实验、设计性实验等。

本书在编写中,力求图文并茂、深入浅出、通俗易懂,可作为高等学校电气类、自动化类及其他相关专业的本、专科教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术实验教程 / 陆静霞主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2004
21世纪电学科高等学校教材
ISBN 7-5084-1931-6

I. 电... II. 陆... III. ①电路—实验—高等学校—教材②电子技术—实验—高等学校—教材
IV. TM13-33②TN01-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第011651号

书 名	21 世纪电学科高等学校教材 电路与电子技术实验教程
作 者	陆静霞 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 12.5 印张 296 千字
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001 - 7000 册
定 价	24.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

实验是帮助学生学习 and 运用理论处理实际问题, 验证消化和巩固基本理论, 获得实验技能和科学研究方法训练的重要环节。电路、电子技术是实践性很强的专业基础课。本书是在南京农业大学工学院多年来实验教学的基础上编写的。本书的特色就是在常用实验之外, 编写了综合性的设计性实验, 这部分可以作为学生课程设计和毕业生综合能力(实验部分)的考核。

本书共分五部分, 第一章为电路与电子技术实验基础知识, 对电路与电子技术实验中常用的仪器及仪表作了一般介绍, 并安排了有关测量方面的内容。第二章为电路实验, 主要涉及直流部分、交流部分、动态电路、三相电路、非正弦周期电路及三相异步电动机等章节中的实验。第三章为电子技术模拟部分实验。第四章为电子技术数字部分实验。第五章为设计性实验。本教材电路实验采用 GDDS 型高智能实验台。电子技术部分是采用 MES 系列模拟、数字电子电路实验系统, 无此实验系统的学校, 本教材同样适用或作参考。其中第一章、第五章由陈彩蓉编写, 第二章由陆静霞编写, 第三章由李询编写, 第四章由步春媛编写, 由陆静霞对全书进行统稿。刘德营副教授在本书的编写过程中自始至终给予了热情的关心和具体的指导, 并担任本书的主审; 尹文庆教授也对本书提出了有益的意见和建议, 邹春富、章世秀、胡飞等老师也给予了帮助, 在此均表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 时间仓促, 书中不妥和错误之处在所难免, 敬请专家和读者批评指正。

作 者

2004 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 电路与电子技术实验基础知识	1
第 1 节 常用电工电子仪器仪表的使用	1
第 2 节 测量误差基础知识	10
第 3 节 实验中的安全问题	14
第 2 章 电路实验	16
实验一 线性与非线性元件伏安特性测定	16
实验二 电位测量与基尔霍夫定律	18
实验三 电压源与电流源的等效、网络等效	22
实验四 叠加原理与戴维宁定理	26
实验五 受控源的研究	28
实验六 线性无源二端口网络的研究	32
实验七 正弦交流电路中串联电路的研究	35
实验八 用功率表测量交流电路等效参数	40
实验九 日光灯功率因数的提高	42
实验十 串联谐振	44
实验十一 电能表的检定	46
实验十二 互感与变压器	49
实验十三 三相负载的连接与三相电功率	55
实验十四 非正弦周期电压的分解与合成	59
实验十五 一阶动态电路的暂态响应	60
实验十六 二阶动态电路的暂态响应	63
实验十七 负阻抗变换器与回转器的应用	64
实验十八 三相鼠笼式异步电动机的基本认识	67
实验十九 三相鼠笼式异步电动机直接启动及正反转控制	70
实验二十 三相鼠笼式异步电动机的 Y- Δ 延时起动控制电路	73
第 3 章 电子技术模拟部分实验	77
实验一 二极管及常用电子仪器使用	77
实验二 晶体管单管放大电路	81
实验三 场效应管及其放大电路	88
实验四 晶体管两级阻容耦合放大电路	92
实验五 负反馈放大电路	97
实验六 射极输出器	101

实验七 差动放大电路	105
实验八 运算放大器在信号运算方面的应用	108
实验九 OTL 功率放大器	113
实验十 LC 正弦波振荡电路	117
实验十一 直流稳压电源	121
第 4 章 电子技术数字部分实验	126
实验一 常用基本逻辑门电路功能测试	126
实验二 OC 门及三态门应用	129
实验三 组合逻辑中规模集成电路——编码器和译码器	133
实验四 半加器、全加器、数据选择器及数据分配器	139
实验五 触发器电路及功能转换	143
实验六 计数器及其应用	150
实验七 计数、译码与显示	159
实验八 寄存器、移位寄存器及其应用	164
实验九 555 时基电路及其应用	171
实验十 数模 (D/A) 转换器及模数 (A/D) 转换器	174
第 5 章 综合、设计性实验	181
实验一 智力竞赛抢答器逻辑电路设计	181
实验二 电动机的正转、反转及多点控制电路的设计	182
实验三 万用电表的设计	182
实验四 串联型晶体管直流稳压电源的设计	185
实验五 数字电子钟逻辑电路设计	186
实验六 多种波形发生器电路设计	188
附录 实验报告样式	191
参考文献	192

第 1 章 电路与电子技术实验基础知识

第 1 节 常用电工电子仪器仪表的使用

一、MF-500 型万用表

万用表是一种多功能、多量程的便携式电工仪表，一般的万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻等。有些万用表还可测量电容、功率、晶体管共射极直流放大系数 h_{FE} 等。所以万用表是电工必备的仪表之一。

万用表可分为指针式万用表和数字式万用表。本节着重介绍指针式万用表，现以 MF-500 型万用表为例介绍其结构。

1. MF-500 型万用表的结构

指针式万用表的型式很多，但基本结构是类似的。指针式万用表的结构主要由表头、转换开关、测量线路、面板等组成。表头采用高灵敏度的磁电式机构，是测量的显示装置；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接受的直流电流。图 1.1 为 MF-500 型万用表面板图，该万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻等多种电量。当转换开关拨到直流电流档，可分别与 5 个接触点接通，用于测量 500mA、50mA、5mA 和 $500\mu A$ 、 $50\mu A$ 量程的直流电流。同样，当转换开关拨到欧姆档，可分别测量 $\times 1\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 100\Omega$ 、 $\times 1k\Omega$ 、 $\times 10k\Omega$ 量程的电阻；当转换开关拨到直流电压档，可分别测量 1V、5V、25V、100V、500V 量程的直流电压；当转换开关拨到交流电压档，可分别测量 500V、100V、10V 量程的交流电压。

2. 指针式万用表的使用

(1) 准备工作。由于万用表种类型式很多，在使用前要做好测量的准备工作：

1) 熟悉转换开关、旋钮、插孔等的作用，检查表盘符号。

2) 了解刻度盘上每条刻度线所对应的被测电量。

3) 检查红色和黑色两根表笔所接的位置是否正确，红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔。

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

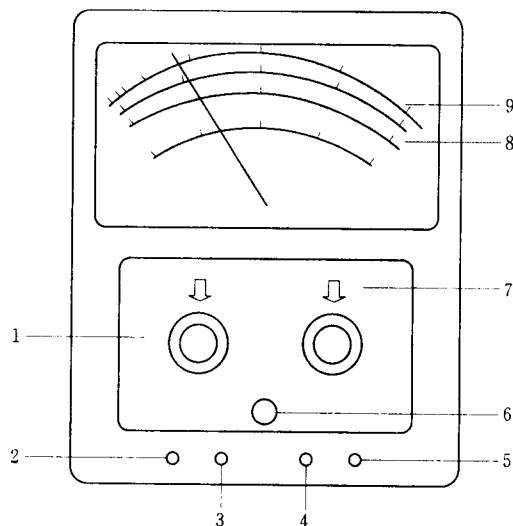


图 1.1 MF-500 型万用表面板图

1—量程选择开关；2—高压测量插孔；3—音频电平测量插孔；4—红表笔插孔（正极）；5—黑表笔插孔（负极）；6—调零旋钮；7—量程定位指示；8—电流、电压刻度线（等距线）；9—电阻刻度线（非等距线）

(2) 测量直流电压。

1) 把转换开关拨到直流电压档,并选择合适的量程。当被测电压数值范围不清楚时,可先选用较高的测量范围档,再逐步选用低档,测量的读数最好选在满刻度的 $2/3$ 处附近。

2) 把万用表并接到被测电路上,红表笔接被测电路的高电位端,黑表笔接低电位端。

3) 根据指针稳定时的位置及所选量程,正确读数。

(3) 测量交流电压。

1) 把转换开关拨到交流电压档,选择合适的量程。

2) 将万用表两根表笔并接在被测电路的两端,不分正负极。

3) 根据指针稳定时的位置及所选量程,正确读数。其读数为交流电压的有效值。

(4) 测量直流电流。

1) 把转换开关拨到直流电流档,选择合适的量程。

2) 将被测电路断开,万用表串接于检测电路中。注意正、负极性:电流从红表笔流入,从黑表笔流出,不可接反。

3) 根据指针稳定时的位置及所选量程,正确读数。

(5) 测量电阻。

1) 把转换开关拨到欧姆档,合理选择量程。

2) 两表笔短接,进行电调零,即转动零欧姆调节旋钮,使指针打到电阻刻度右边的“0” Ω 处。

3) 将被测电阻脱离电源,用两表笔接触电阻两端,从表头指针显示的读数乘所选量程的倍率数即为所测电阻的阻值。如选用 $R \times 100$ 档测量,指针指示 60,则被测电阻值为: $60\Omega \times 100 = 6000\Omega = 6k\Omega$ 。

(6) 注意事项。

1) 测量元件电阻值前一定要“先调零再测量”,且每次改变电阻档量程都要进行一次“调零”操作。

2) 万用表是一种精密仪表,使用中应轻拿轻放。另外,无论用它测电压还是测电流,不能超过它的测量范围,且注意电表的极性。

3) 严禁用电阻档测量电压、电流,以免损坏电表。

4) 测量完毕,将转换开关置于交流电压最高档或空档。

二、YB4320G 型双踪示波器

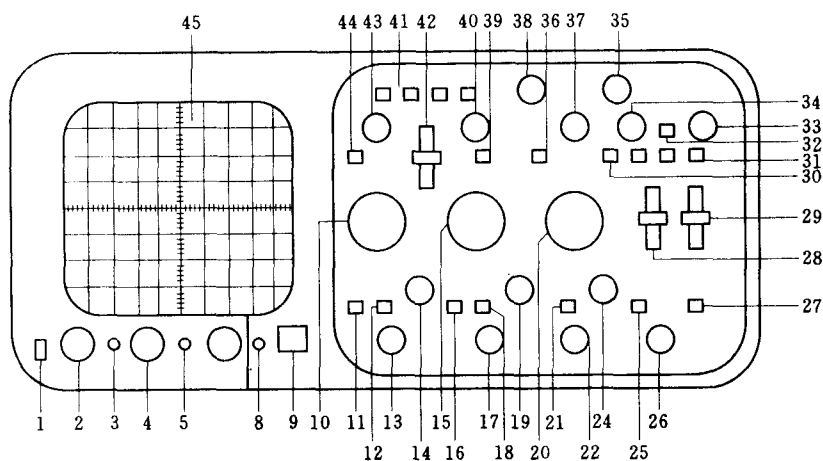
示波器能将抽象的电信号变换成直观的、具体的波形图像。由于其使用方便,波形显示直观,并且可用于观测信号的周期、幅值、波形及相位等,因此,已成为电子测量中使用最为广泛的测量仪器之一。图 1.2 (a)、(b) 所示为 YB4320G 型双踪示波器的面板图。

1. 面板控制键作用说明

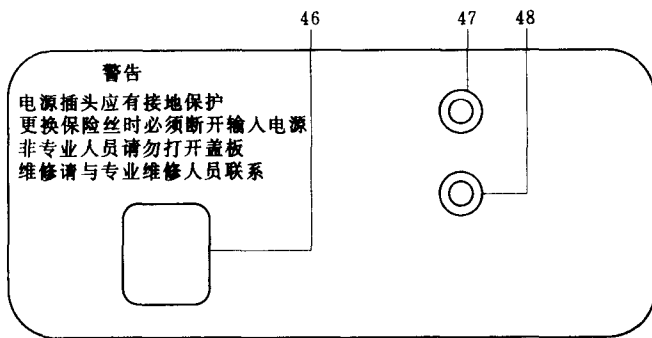
(1) 主机电源。

46——交流电源插座,该插座下部装有保险丝。检查电压插座上标明的额定电压,并使用相应的保险丝。该电源插座用来连接交流电源线。

9——电源开关(POWER)。将电源开关按键弹出即为“关”位置,将电源线接入,按



(a)



(b)

图 1.2 YB4320G 型双踪示波器的面板图

(a) YB4320G 型双踪示波器操作面板图；(b) YB4320G 型双踪示波器后面板图

电源开关键，接通电源。

8——电源指示灯。电源接通时，指示灯亮。

2——辉度旋钮 (INTENSITY)。控制光点和扫描线的亮度，顺时针方向旋转旋钮，亮度增强。

4——聚焦旋钮 (FOCUS)。用辉度控制钮将亮度调至合适的标准，然后调节聚焦控制钮直至光迹达到最清晰的程度。虽然调节亮度时，聚焦电路可自动调节，但聚焦有时也会有微变化，如果出现这种情况，需重新调节聚焦旋钮。

5——光迹旋转 (TRACE ROTATION)。由于磁场的作用，当光迹在水平方向轻微倾斜时，该旋钮用于调节光迹与水平刻度平行。

45——显示屏。仪器的测量显示终端。

3——延迟扫描辉度控制钮 (BINTEN)。顺时针方向旋转此钮，增加延迟扫描 B 显示光迹亮度。

1——校准信号输出端子 (CAL)。提供 $1\text{kHz} \pm 2\%$ ， $2U_{p-p} \pm 2\%$ 方波作本机 Y 轴、X 轴

校准用。

47——Z 轴信号输入 (Z—AXIS INPUT)；外接亮度调制输入端。

(2) 垂直方向部分 (VERTICAL)。

13——通道 1 输入端 [CH1 INPUT (X)]。该输入端用于垂直方向的输入，在 X—Y 方式时，作为 X 轴输入端。

17——通道 2 输入端 [CH2 INPUT (Y)]。和通道 1 一样，但在 X—Y 方式时，作为 Y 轴输入端。

11、12、16、18——交流—直流—接地 (AC、DC、GND)。输入信号与放大器连接方式选择开关：

交流 (AC)：放大器输入端与信号连接由电容器来耦合。

接地 (GND)：输入信号与放大器断开，放大器的输入端接地。

直流 (DC)：放大器输入与信号输入端直接耦合。

10、15——衰减器开关 (VOLTS/DIV)。用于选择垂直偏转系数，共 12 档。如果使用的是 10:1 的探极，计算时将幅度 $\times 10$ 。

14、19——垂直微调旋钮 (VARIABLE)。垂直微调用于连续改变电压偏转系数。此旋钮在正常情况下应位于顺时针方向旋到底的位置。将旋钮逆时针旋到底，垂直方向的灵敏度下降到 2.5 倍以上。

44——断续工作方式开关。CH1、CH2 两个通道按断续方式工作，断续频率为 250kHz，适用于低扫速。

43、40——垂直移位 (POSITION)。调节光迹在屏幕中的垂直位置。

42——垂直方式工作开关 (VERTICAL MODE)。选择垂直方向的工作方式如下：

通道 1 选择 (CH1)：屏幕上仅显示 CH1 的信号。

通道 2 选择 (CH2)：屏幕上仅显示 CH2 的信号。

双踪选择 (DUAL)：屏幕上显示双踪，自动以交替或断续方式，同时显示 CH1 和 CH2 上的信号。

叠加 (ADD)：显示 CH1 和 CH2 输入信号的代数和。

39——CH2 极性开关 (INVERT)。按此开关时 CH2 显示反相信号。

48——CH1 信号输出端 (CH1 OUTPUT)。输出约 100mV/div 的通道 1 信号。当输出端接 50 Ω 匹配终端时，信号衰减一半，约 50mV/div。该功能可用于频率计显示等。

(3) 水平方向部分 (HORIZONTAL)。

20——主扫描时间系数选择开关 (TIME/DIV)。共 20 档，在 0.1 μ s/div $\sim$ 0.5s/div 范围选择速率。

30——X—Y 控制键。按此键，垂直偏转信号接入 CH2 输入端，水平偏转信号接入 CH1 输入端。

21——扫描非校准状态开关键。按此键盘，扫描时基本进入非校准调节状态，此时调节扫描微调有效。

24——扫描微调控制键 (VARIABLE)。此旋钮以顺时针方向旋转到底时，处于校准位置，扫描由 Time/div 开关指示。此旋钮逆时针方向旋转到底时，扫描减慢 2.5 倍以上。当

扫描微调控制键调节无效即为校准状态。

35——水平移位 (POSITION)。用于调节光迹在水平方向移动。顺时针方向旋转该旋钮向右移动光迹, 逆时针方向旋转向左移动光迹。

36——扩展控制键 (MAG $\times 10$)。按下去时, 扫描因数 $\times 10$ 扩展 [YB4320G 为 ($\times 5$)]。扫描时间是 Time/div 开关指示数值的 1/10 (1/5)。

37——延迟扫描 B 时间系数选择开关 (BTIME/DIV)。分 12 档, 在 0.1 μ s/div $\sim$ 0.5 ms/div 范围内选择 B 扫描速率。

41——水平工作方式选择 (HORIZDISPLAY)。

主扫描 (A): 按入此键主扫描 A 单独工作, 用于一般波形观察。

A 加亮 (A INT): 选择 A 扫描的某区段扩展为延迟扫描, 可用此扫描方式。与 A 扫描相对应的 B 扫描区段 (被延迟扫描) 以高亮度显示。

被延迟扫描 (B): 单独显示被延迟扫描 B。

B 触发 (B TRIGD): 选择连续延迟扫描和触发延迟扫描。

38——延迟时间调节旋钮 (DELAYTIME)。调节延迟扫描对应于主扫描起始延迟多少时间启动延迟扫描, 调节该旋钮, 可使延迟扫描在主扫描全程任何时段启动延迟扫描。

22——接地端子: 示波器外壳接地端。

(4) 触发系统 (TRIGGER)。

29——触发源选择开关 (SOURCE)。

通道 1 触发 (CH1, X—Y): CH1 通道信号为触发信号, 当工作方式在 X—Y 方式时, 拨动开关应设置于此档。

通道 2 触发 (CH2): CH2 通道的输入信号是触发信号。

电源触发 (LINE): 电源频率信号为触发信号。

外触发 (EXT): 外触发输入端的触发信号是外部信号, 用于特殊信号的触发。

27——交替触发 (TRIG ALT)。在双踪交替显示时, 触发信号来自于两个垂直通道, 此方式可用于同时观察两路不相关信号。

26——外触发输入插座 (EXT INPUT)。用于外部触发信号的输入。

33——触发电平旋钮 (TRIG LEVEL)。用于调节被测信号在某选定电平触发, 当旋钮向 “+” 时显示波形的触发电平上升, 反之触发电平下降。

32——电平锁定 (LOCK)。无论信号如何变化, 触发电平自动保持在最佳位置, 不需人工调节电平。

34——释抑 (HOLKOFF)。当信号波形复杂, 用电平旋钮不能稳定触发时, 可用 “释抑” 旋钮使波形稳定同步。

25——触发极性按钮 (SLOPE)。触发极性选择。用于选择信号的上升和下降触发。

31——触发方式选择 (TRIG MODE)。

自动 (AUTO): 在 “自动” 扫描时, 扫描电路自动进行扫描。在没有信号输入或输入信号没有补触发同步时, 屏幕上仍然可以显示扫描基线。

常态 (NORM): 有触发信号才能扫描, 否则屏幕上无扫描线显示。当输入信号的频率低于 50Hz 时, 请用 “常态” 触发方式。

单次 (SINGLE): 当“自动”(AUTO)、“常态”(NORM) 两键同时弹出被设置于单次触发工作状态, 当触发信号来到时, 准备 (READY) 指示灯亮, 单次扫描结束后指示灯熄, 复位键 (RESET) 按下后, 电路又处于待触发状态。

2. 双踪示波器的基本操作

(1) 打开电源开关, 确定电源指示灯变亮, 约 20s 后, 示波管屏幕上会显示光迹, 如 60s 后仍未出现光迹, 应检查开关和控制按钮的设定位置。

(2) 调节辉度 (INTEN) 和聚焦 (FOCUS) 旋钮, 将光迹亮度调到适当。

(3) 调节 CH1 位移旋钮及光迹旋转旋钮, 将扫线调到与水平中心刻度线平行。

(4) 将探极连接到 CH1 输入端, 将 $2U_{p-p}$ 校准信号加到探极上。

(5) 将 AC—DC—GND 开关拨到 AC, 屏幕上将会出现方波。

(6) 调节聚焦 (FOCUS) 旋钮, 使波形达到最清晰。

(7) 为便于信号的观察, 将 VOLTS/DIV 开关和 TIME/DIV 开关调到适当的位置, 使信号波形幅度适中, 周期适中。

(8) 调节垂直移位和水平移位旋钮到适中位置, 使显示的波形对准刻度线且电压幅度 (U_{p-p}) 和周期 (T) 能方便读出。

CH2 的单通道操作方式与 CH1 类似。

3. 双踪示波器双通道操作

将 VERT MODE (垂直方式) 开关置双踪 (DUAL), 如同通道 CH1, 将校准信号接入通道 CH2, 设定输入开关为 AC, 调节垂直方向位移旋钮 (40) 和 (43), 使两通道信号呈两个方波。

双通道操作时, “触发源” 开关选择 CH1 或 CH2 信号, 如果 CH1 和 CH2 信号为相关信号, 则波形均被稳定显示; 如为不相关信号, 必须使用“交替触发” (TRIG ALT) 开关, 那么两个通道不相关信号波形也都被稳定同步。但此时不可同时按下“断续” (CHOP) 和“交替触发” (TRIG ALT) 开关。

5ms/div 以下的扫速范围使用“断续”方式, 2ms/div 以上扫速范围为“交替”方式, 当“断续”开关按入时, 在所有扫速范围内均以“断续”方式显示两条光迹, “断续”方式优先“交替”方式。

4. 双踪示波器叠加操作

将垂直方式 (VERT MODE) 设定在相加 (ADD) 状态, 可在屏幕上观察到 CH1 和 CH2 信号的代数和, 如果按下了 CH2 反相 (INV) 按键开关, 则显示为 CH1 和 CH2 信号之差。

5. 双踪示波器触发

正确的触发方式直接影响示波器有效操作, 因此必须熟悉各种触发功能及操作方法。

(1) 触发源开关功能。选择所需要显示的信号自身或是与显示信号具有时间关系的触发信号作用于触发, 以便在屏幕上显示稳定的信号波形。

电源 (LINE): 电源信号用作触发信号。

外接 (EXT): 扫描由作用在外触发输入端的外加信号触发, 使用的外接信号与被测信号具有周期性关系, 由于被测信号没有用作触发信号, 波形的显示与测量信号无关。

触发源信号选择功能见表 1.1。

表 1.1

触发源信号选择功能

垂直方式触发源	CH1	CH2	DUAL	ADD
CH1	由 CH1 信号触发			
CH2	由 CH2 信号触发			
ALT	由 CH1 和 CH2 交替触发			
LINE	由交流电源信号触发			
EXT	由外接输入信号触发			

(2) 极性开关功能。该开关用于选择触发信号的极性。

“+”当设定在正极性位置，触发电平产生在触发信号上升沿。

“-”设定在负极性位置，触发电平产生在触发信号下降沿。

6. 注意事项

(1) 示波器是精密仪器，一定要在老师的指导下使用，使用前务必熟读该内容，牢记面板上各钮功能。调节各钮时，动作应轻、缓。不准随意乱扳、硬旋，更不准强力拍砸。

(2) 输入信号的电量强度是有限制的，不准输入大电流或高电压，以免引爆仪器。

(3) 使用前应先通电 10~20min 预热，使示波器内部各电路的工作处于稳定状态，这样测量结果也较为准确。

(4) 使用中应避免出现一光点，若光点长时间停留于一点，极易使显示屏老化。

(5) 使用完毕应主动关掉电源，收拾安放好仪器。

三、信号发生器

DF1026 型信号发生器是一种便携式 RC 振荡器，除能输出失真度很低的正弦波信号，还能选择方波输出，它是电子实验及电子技术测试中的常用信号源。

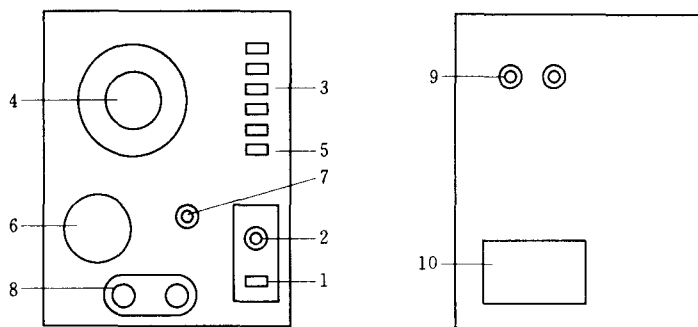


图 1.3 DF1026 型信号发生器面板图

1. DF1026 型信号发生器面板功能

图 1.3 为 DF1026 型信号发生器面板图，该仪器面板功能如下：

1——电源开关。

2——指示灯，电源接通会发光。

3——频率倍乘选择开关，从 $\times 1 \sim \times 10k$ 共分为 5 档。

4——频率度盘。在其上方面板上有倒三角形度盘指针，将该指针对应的度盘读数与所选频率倍乘档相乘，即为仪器振荡频率。

5——输出波形选择开关。该按键开关释放位置，则输出正弦波。按下位置，为输出方波。

6——输出衰减器。从 $-50\sim 0\text{dB}$ ，共分为6档，以 10dB 步进。

7——输出幅度调节器。可连续改变输出幅度。

8—— $600(\Omega)$ 输出端。其黑色端子为仪器公共端。

9——（后面板）外同步信号输入端。黑色插孔为公共端。

10——交流电源插座。

2. 技术参数

(1) 频率范围。输出信号频率从 $10\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 分5个频率段。

×1 档 $10\text{Hz}\sim 100\text{Hz}$

×10 档 $100\text{Hz}\sim 1\text{kHz}$

×100 档 $1\text{kHz}\sim 10\text{kHz}$

×1K 档 $10\text{kHz}\sim 100\text{kHz}$

×10K 档 $100\text{kHz}\sim 1\text{MHz}$

(2) 频率精度。输出信号的频率精确度。

1) 正弦波输出： $>7\text{V}$

精确度 $10\text{Hz}\sim 200\text{kHz}>99.7\%$

$50\text{Hz}\sim 500\text{kHz}>99\%$

$20\text{Hz}\sim 1\text{kHz}>98.5\%$

$10\text{Hz}\sim 20\text{Hz}>97.5\%$

2) 方波输出： $\geq 10U_{p-p}$

方波上升沿时间、下降沿时间 $<200\mu\text{s}$

3) 外同步输入：

同步范围： $\pm 1\%/V$

最大允许输入： 10V

输入阻抗： $10\text{k}\Omega$

3. 工作原理

本仪器内部由“文氏桥振荡电路”、“方波整形电路”、“输出放大电路”、“输出衰减器”和“直流稳压电源”组成。如图1.4所示。图中：

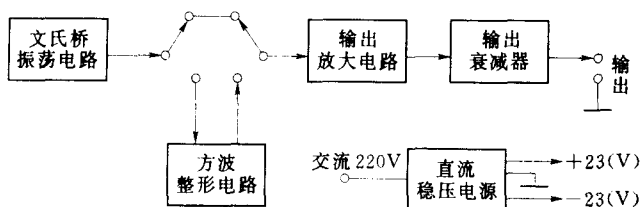


图 1.4 DF1026 信号发生器原理图

“文氏桥振荡电路”——产生正弦波形输出。

“方波整形电路”——将文氏桥振荡器产生的正弦波整形成良好升降特性的方波。

“输出放大电路”——采用互补推挽输出的 OCL 电路，输出阻抗较低。

“输出衰减器”——一个以 10dB 步进衰减的 6 位衰减器，提供 0dB~ -50dB 的衰减量。

“直流稳压电源”——一组 $\pm 23\text{V}$ 的稳压器。

4. 使用说明

(1) 按下电源开关 1，预热 10min，使仪器工作稳定。

(2) 先将频率量程开关 3 置于所需的频率倍乘档，而后调节频率度盘 4，使所需频率值对准度盘上方的度盘指针。

(3) 如需信号为正弦波，波形选择开关处于释放位置“~”；若需方波信号应按下选择开关 4 到“ $\square$ ”位置。

(4) 调节输出电压电位器 7，连续调节并由输出衰减器 6 步进衰减。

四、电子电压表（晶体管毫伏表）的使用

电子电压表也称为毫伏表（或高频毫伏表），能够测量的被测电压信号的频带可达几 Hz~几 GHz，被测电压值范围为 $\mu\text{V}\sim\text{kV}$ ，电压表的内阻一般大于 $1\text{M}\Omega$ 。因此，电子电压表被广泛用于测过高频、高阻电子电路的交流电压信号。在此需要说明的是，万用表的交流电压档也可用于测量交流电压，但其频率特性差（一般为 45~1000Hz），且内阻小，故用于工频信号的测量，图 1.5 所示为晶体管毫伏表面板图。

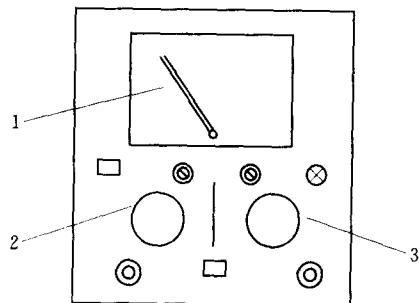


图 1.5 晶体管毫伏表面板图

1—双针表头；2—CH1；3—CH2

常用电子电压表的原理框图如图 1.6 所示。其中，可变分压器用来扩大量程；宽带放大器可以提高电压表的灵敏度（达到 mV 量级）；检波器是将交流变为直流并获得平均值的电路，其输出的直流电流流过电流表表头，从而驱动指针偏转。电子电压表只能测量交流正弦电压信号，测量读数也只是交流正弦电压信号的有效值。

1. 常用电子电压表面板主要键钮的说明

(1) 量程选择开关。将电压表的量程分成若干档，以方便对输入不同大小信号的测量。

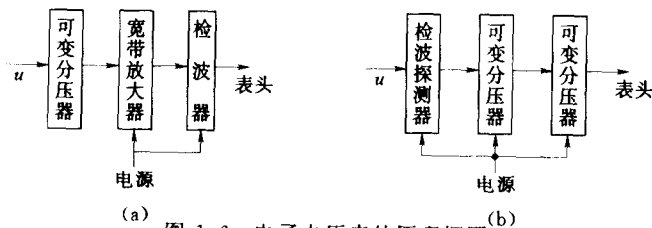


图 1.6 电子电压表的原理框图

(a) 放大—检波式电子电压表；(b) 检波—放大式电子电压表

(2) 表盘。表盘上一般有几条刻度线，每一条刻度线对应不同量程的读数刻度。测量读数时，应读取相应测量档所对应的刻度指示数。

(3) 输入端口。通过输入连接线，将输入信号从该端口输入机内。

(4) 零点调整旋钮。在未输入信号（输入端短接）时，调整该旋钮使指针对准零刻度。

2. 使用方法

测试时，应该特别注意的是各电子仪器及电路的“共地”问题。在电子线路中，由于工作频率较高，线路阻抗较大，功率较低，为了避免外界的干扰，仪器及电路均采用单端输入、单端输出的方式。也就是说，仪器的测量端口中两个测量端点是不对称的，总有一个端点与仪器外壳相连，这个端点通常用符号“⊥”表示。测量中，所有仪器的“⊥”点必须连在一起，即“共地”。接线时，先接地线，然后接信号线；拆线时，则先拆信号线，后拆地线。按被测信号电压的大小选择合适的量程。若被测信号电压的大小未知时，一般从大量程开始，逐渐减小量程，直到指针有合适的指示为止。

选好量程后，将输入信号电缆的芯线对地短接，接通电源，待指针偏转稳定后，旋转“零点调整”旋钮，使指针指在零位，即可进行测量。注意：每次改变量程后，应重新调零。

五、单相电功率表

该电表是测量单相交流电路电功率的仪表，电表指示值是交流电路的平均有功功率。由于交流电的电功率是由负载电流、电压及功率因数($\cos\phi$)的乘积决定的。因此该功率表内部有两套线圈：一套线圈测量负载电流，称为电流线圈。使用时，该线圈必须与负载串联；另一套线圈测量负载电压，使用时，该线圈必须与负载并联。

根据电磁感应原理，两套线圈通电后均具有磁通极性，因此该表测量交流电路的电功率时，要把同极端连在同一边，使电流同时流入。否则，功率表的指针会反向偏转，接线方法如图 1.7 所示。

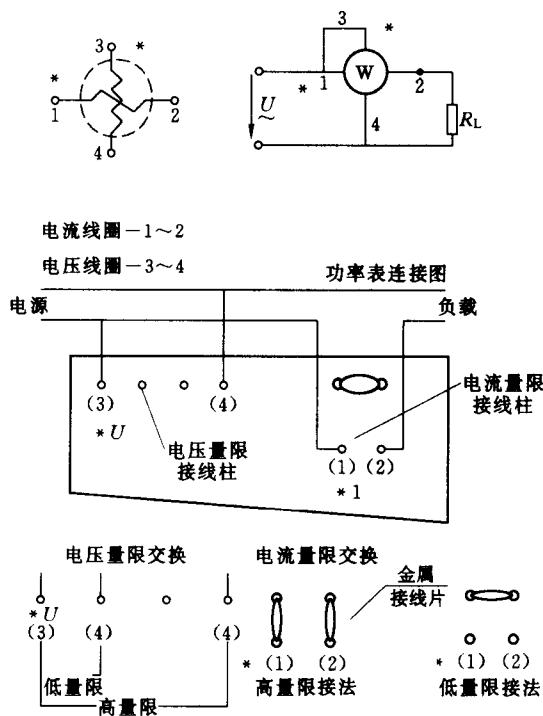


图 1.7 单相电功率表接线图

第 2 节 测量误差基础知识

电子测量的方法一般分为直接测量法和间接测量法两种。直接测量法在测量过程中能从仪器、仪表上直接读出被测参量的波形或数值的大小；间接测量法是先对各间接参量进行直接测量，并将测得的数值代入公式，通过计算得到待测参量。

电子测量获得的数据,因测量仪器、测量方法、测量环境、人为因素等的影响,测量结果往往偏离真实数值,产生测量误差。

一、基本测量知识

电子电路中的电压与电工电路中的电压有所不同,具有如下特点:

(1) 频率范围宽。电子电路中电压的频率可以从直流到几百兆赫甚至更高的频率范围。一般的电工仪表是无法胜任的。

(2) 电压波形各异。电子电路中的电压有直流、正弦波形、三角波形、锯齿波形、脉冲波形等多种波形,而一般的电压表是以正弦波电压有效值的大小来标示刻度的。因此,从测量仪表直接获得的非正弦电压值误差较大,需加以校正。

(3) 电路阻抗高。电子电路通常为高阻抗电路,所以为了避免测量仪表对被测电路产生影响,仪表应有较高的输入阻抗。对于高频信号的测量,要求测量仪表有较小的输入电容。

(4) 电压幅度宽。电子电路中的电压值范围宽广,小到微伏级,大到几百伏甚至几千伏,测量时需要有合适量程的仪器与之相适应。

二、测量数据的有效数字

测量得到的结果往往都是近似值。例如,用电压表测量电压时,指针的位置如图 1.8 所示,此时电压读数可读成 27.5V。很明显,2 和 7 两个数字是准确的,称为准确数字;而末位的数字 5 则是根据指针在标尺的最小分格中的位置估计出来的,是不准确数字,称为欠准数字。准确数字和欠准数字在测量结果中,都是不可缺少的,它们统称为有效数字,即从左边第一个非零的数字到右边最后一个非零数字为止所包含的数字。有效数字不但包含了被测参量的大小,也确定了测量的精度。在测试中,记录数据时读数只应保留一位欠准数字,超过一位欠准数字的估计数字是没有意义的。例如,如果将图 1.8 的电压读数读为 27.51V,则末位数 1 是毫无意义的。保留有效数字位数的多少与小数点无关,如 27.5 和 275 都是三位有效数字。0 在数字之间或数字之末算作有效数字,而在数字之前不算作有效数字,如 5.80 和 5.8,两种写法表示的是同一个数值,但前者是三位有效数字,后者只有两位有效数字,反映了不同的测量精确度。另外,大数值与小数值要用幂的乘积形式表示,如 3500V 应记作: $3.5 \times 10^4 \text{V}$ 。在表示误差时,一般只取一位有效数字,最多取两位有效数字。

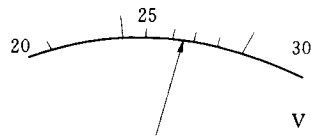


图 1.8 有效数字读取示意图

对于测量读数,在规定的精度范围以外的那些数字,一般应按照“四舍五入”的规则进行取舍,如精度要求取 n 位有效数字,那么第 $n+1$ 位及其以后的各位数字都应舍去。目前,广泛采用的“四舍五入”法则对 5 的处理是,当被舍去的数字等于 5,而 5 之后有数字时,则可舍 5 进 1;若 5 后面无数字或为 0 时,这时只有在 5 之前为奇数时,才能舍 5 进 1,否则,舍 5 不进位。

三、误差的基本概念

一般来说,测量仪器的测量准确度通常用允许误差来表示,根据技术条件的要求,规定某一类仪器的误差的最大范围。允许误差的表示可以用相对误差,也可以用相对误差与绝对误差相结合的形式加以表示。