



内附光盘

▶ 普通高等教育规划教材

*DI LUN LU YU DI LUN LU SHI YAN JIAO CHENG
JI JI SU AN JI JI AN GUO*

电路与电子实验教程 及计算机仿真

卓郑安 主编

710-43

机械工业出版社
China Machine Press



153

718710-43
291

普通高等教育规划教材

电路与电子实验教程 及计算机仿真

主编 卓郑安

参编 (按姓氏笔画排序)

毛学军 张 琪 张正明

余 璆 步春媛 袁之亦

熊 洁

主审 刘启中

本书附盘可从本馆主页 <http://lib.szu.edu.cn/>
上由“馆藏检索”该书详细信息后下载,
也可到视听部复制



A1033311



机械工业出版社

本书列入普通高等教育规划教材,主要总结了在电路和电子技术实验方面长期的教学经验,深入浅出地介绍了电路实验、模拟电子技术实验和数字电子技术实验、电机与控制实验及计算机仿真实验。突出重点和难点,可操作性强。对各相关实验均进行了计算机仿真,并给出仿真结果及操作光盘。仿真实验简明易读,实用性强。

本书特色是力求使验证性实验和设计性实验相结合,使传统实验和计算机仿真实验相结合,使软件仿真和硬件仿真相结合。

本书可作为高等学校电气信息类和其他相近专业的本、专科生教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子实验教程及计算机仿真/卓郑安主编. —北京:机械工业出版社, 2002.9

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-10542-7

I. 电... II. 卓... III. ①模拟电路-电子技术-实验-高等学校-教材②计算机仿真-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 048754 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周娟 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣
贡克勤

封面设计:陈沛 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/16 · 10.5 印张·254 千字

0 001—4 500 册

定价:18.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

前 言

实验教学是电气信息类专业基础课程中的重要实践环节，它与专业教学紧密结合，对培养学生理论联系实际的能力具有重要的作用。为了培养新一代电气信息类设计人才，使他们能够掌握基本的电气信息类专业的实验技能，我们编写的基础性实验有助于学生理解和巩固基础知识和基本理论，训练和掌握基本实验技能；设计性实验有助于培养学生初步的设计和调试能力，培养学生独立分析问题和解决问题的能力 and 严谨的工作作风。

本书的编写宗旨是根据教学基本要求及教学规律，结合各高校实验教学的实际要求，力求做到验证性实验和设计性实验相结合；传统实验和计算机仿真实验相结合；软件仿真和硬件仿真相结合。适应面广，且针对性强，便于教师和学生阅读和因材施教。

本书附有计算机操作光盘，便于读者结合教材上机使用。盘内附有第2、3、4章的各相关实验的仿真电路原理图、仿真实验的波形图、仿真方法的详细讲解和操作技巧指导。读者可以在操作光盘的具体引导下，快速掌握计算机软件仿真的使用方法，并与教材中所给出的实验结果相对照，进行实验分析。

本书由上海工程技术大学卓郑安主编，张正明、余璐、熊洁、袁之亦、张琪参编。南京农业大学工学院步春媛、淮安信息职业技术学院毛学军参加了编写。上海工程技术大学刘启中担任主审，他对本书的编写原则和编写方法进行了具体的指导，提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳请各兄弟院校的师生和读者提出批评和改进意见。

编 者

目 录

前言

对实验报告的要求

第1章 电路与电子实验基础知识 1

1.1 常用电子仪器的使用 1

1.1.1 电子仪器的选择 1

1.1.2 电子仪器的使用及注意事项 2

1.2 电路与电子测量基本知识及安全用电 8

1.2.1 基本测量知识 8

1.2.2 误差的基本概念 9

1.2.3 安全用电 10

1.3 常用电子电路设计的安装调试及常见故障的检查 11

1.3.1 电子电路系统设计 11

1.3.2 电子测量系统的“接地”与“共地” 12

1.3.3 电子电路的安装和调试 13

1.3.4 电子电路的故障检查与处理 16

第2章 电路实验 17

2.1 电路基础实验 17

2.1.1 基尔霍夫定律和电路中电位的测量 17

2.1.2 叠加定理和戴维宁定理 19

2.2 动态电路实验 21

2.2.1 一阶电路暂态响应的研究 21

2.2.2 二阶电路暂态响应的研究 23

2.3 正弦稳态电路实验 25

2.3.1 交流电路元件参数的测量 25

2.3.2 感性负载功率因数的提高 29

2.3.3 RLC 谐振电路实验 30

2.4 三相交流电路实验 32

2.4.1 三相电路中电压和电流的测量 32

2.4.2 三相电路中有功功率和无功功率的测量 33

2.5 二端口网络实验 36

2.5.1 二端口网络 A 参数测量 36

2.5.2 受控源特性测量 38

2.5.3 负阻抗变换器实验 43

2.5.4 回转器实验 45

2.6 异步电动机控制实验 47

2.6.1 三相异步电动机基本控制电路 47

2.6.2 交流电动机正反转及时间控制电路 48

2.6.3 用可编程序控制器控制交流电动机 49

2.6.4 用可编程序控制器控制交流电动机星/三角起动 51

2.7 电路的计算机仿真实验 53

2.7.1 基尔霍夫定律 53

2.7.2 叠加定理 54

2.7.3 一阶电路暂态响应 55

2.7.4 二阶电路暂态响应 56

2.7.5 受控源特性 57

2.7.6 负阻抗变换器 61

2.7.7 回转器 61

第3章 模拟电子技术实验 63

3.1 基本放大电路实验 63

3.1.1 晶体管单管放大电路 63

3.1.2 场效应晶体管放大电路 66

3.2 两级放大电路实验 67

3.2.1 晶体管两级阻容耦合放大电路 67

3.2.2 两级放大电路中的负反馈 70

3.2.3 差分放大电路 72

3.3 集成运算放大电路实验 74

3.3.1 集成运算放大电路的参数测定 74

3.3.2 集成运算放大电路应用之一 77

3.3.3 集成运算放大电路应用之二 80

3.4 功率放大电路实验 82

3.4.1 OTL 功率放大电路 82

3.4.2 集成功率放大电路	84	4.4 数字电子技术的计算机仿真	
3.5 集成稳压电路实验	85	实验	125
3.6 模拟电子技术的计算机仿真		4.4.1 三人表决电路	125
实验	86	4.4.2 用三态门实现双向传输数据	126
3.6.1 晶体管单管放大电路	86	4.4.3 逻辑电路的竞争-冒险	
3.6.2 晶体管特性曲线的测量	87	现象与消除	127
3.6.3 晶体管多级放大器	89	4.4.4 数据选择器	129
3.6.4 多级放大器中的负反馈	89	4.4.5 三位串行寄存器	129
3.6.5 方波发生器	90	4.4.6 集成电路的计数、译码和显	
3.6.6 三角波发生器	90	示	130
3.6.7 一般稳压电源	90	4.4.7 振荡器	133
3.6.8 晶体管稳压电源	91	4.4.8 施密特触发器	134
3.6.9 集成稳压电路	91		
第4章 数字电子技术实验	96	第5章 电路与电子实验的计算机仿	
4.1 集成逻辑门电路及组合逻辑		真	135
电路实验	96	5.1 OrCAD、PSpice9.1 简介	135
4.1.1 常用基本逻辑门电路功能测试 ..	96	5.1.1 绘图方法简介	135
4.1.2 OC 门及三态门的应用	99	5.1.2 仿真	140
4.1.3 编码器和译码器	101	5.2 EWB 简介	142
4.1.4 半加器、全加器和数据选择器 ..	104	5.2.1 电子工作台 (EWB) 简述	142
4.2 触发器及时序逻辑电路实验	108	5.2.2 电子工作台 (EWB) 特点	143
4.2.1 触发器电路及功能转换	108	5.2.3 创建电路原理图的步骤	143
4.2.2 寄存器及移位寄存器	111	5.2.4 运用仪器观察实验过程	144
4.2.3 计数、译码和显示	114	5.2.5 EWB 的元器件库栏	144
4.3 脉冲波形的产生和整形电路		5.2.6 分压式工作点稳定电路的 EWB	
实验	117	仿真过程	145
4.3.1 集成逻辑门构成的脉冲电路	117	5.3 ISP 简介	146
4.3.2 集成施密特触发器	119	5.3.1 十进制计数器的设计	146
4.3.3 集成单稳态触发器	119	5.3.2 计数器的仿真	151
4.3.4 集成定时器的应用	121	5.3.3 计数器的适配与下载	154
		参考文献	158

第 1 章 电路与电子实验基础知识

1.1 常用电子仪器的使用

在电子电路实验中，测试相关的电参数及分析电子电路的静态和动态工作时，通常使用的电子仪器有直流稳压电源、示波器、信号发生器、晶体管毫伏表、数字式或指针式万用表、晶体管特性分析仪及频率计等。它们分别可用于电路的各参数的测量，图 1-1 所示为常用电子仪器。

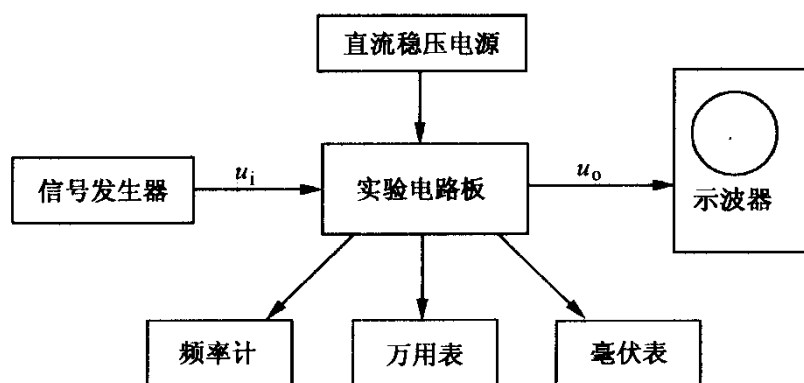


图 1-1 常用电子仪器

各仪器仪表的主要功能如下：

- (1) 直流稳压电源 直流稳压电源是为电子电路提供直流工作的电源。
- (2) 示波器 可用来观察电路中各测试点的波形，监测电路的工作情况，也可用于测量小信号的周期、幅度、相位差及观察电路的特性曲线等。
- (3) 信号发生器 为实验电路提供各种频率、幅度及波形的输入信号。
- (4) 晶体管毫伏表 用于测量实验电路的输入、输出信号的有效值及各测试点交流电压的有效值。
- (5) 数字式或指针式万用表 一般用于测量电路的静态工作点和各测试点的直流信号。
- (6) 频率计 用于测量电路信号的频率。
- (7) 晶体管特性分析仪 用于对各种晶体管的特性及参数的测量。

1.1.1 电子仪器的选择

测量时，要合理选择电子测量仪器，应注意以下几方面：

- (1) 充分了解电子仪器的性能 作为测量工具，选择时应全面、深入地了解 and 掌握各种仪器的功能、技术性能、基本原理及其使用方法。
- (2) 环境对仪器的影响 任何仪器在使用过程中，对环境条件都有一定的要求。大部分电子仪器，特别是灵敏度和精确度较高的仪器，受环境温度、湿度及电磁场的干扰影响很大。根据被测信号的特点及测量的要求，创造良好的测试环境，以免影响测试结果。
- (3) 根据测试要求，选择测试仪器 能够完成同一参数的测试的仪器类型可能有多种选

择（如测量交流电压可以选用晶体管毫伏表、万用表、示波器等），不同的仪器，其测量的精度和方法不同，应以满足测试要求、简捷方便为标准来选择测量仪器。

1.1.2 电子仪器的使用及注意事项

1. 示波器使用

示波器能将抽象的电信号转换成直观的、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 所示为一般双踪示波器的面板图。

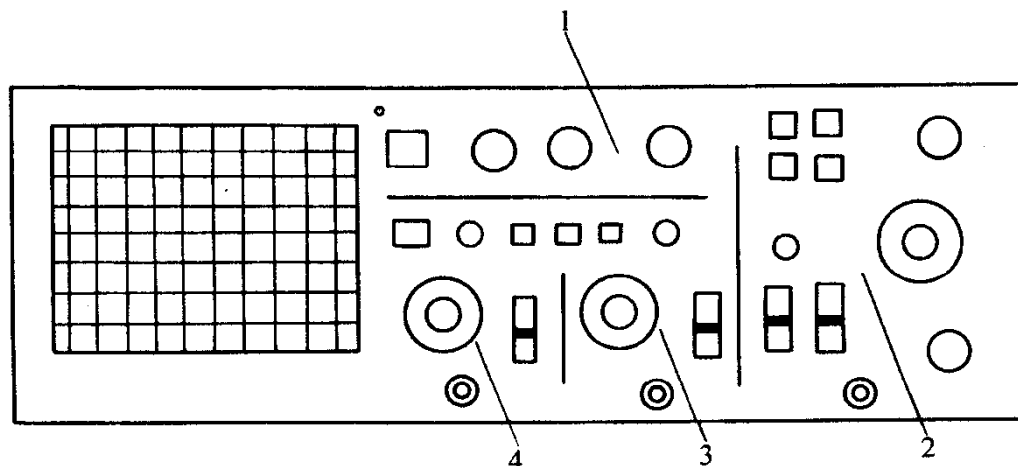


图 1-2 双踪示波器面板图

1—电源显示控制部分 2—X 通道 3—YCH2 通道 4—YCH1 通道

(1) Y 通道的控制旋钮

1) 步进式电压衰减（垂直）开关。调节显示波形幅度的大小，衰减越大，显示幅度越小。开关代表伏/格（V/div），实际被测量幅度读数为

$$\text{实际格数} \times \text{开关指数} \times \text{探头比}$$

2) Y 轴（垂直）增益旋钮。幅度大小连续可调，一般顺时针调增大，旋足为校准位置，逆时针调减小。

3) Y 轴（垂直）位移。上下移动被测显示波形。

4) AC-GND-DC 输入耦合方式开关。信号的输入方式选择：AC 为交流耦合方式，DC 为直流耦合方式，GND 为输入接“地”。

5) Y 轴（垂直）衰减扩展。 $\times 5$ （ $\times 10$ ）扩展。

在双踪示波器中，电子开关有五种工作状态：Y1（CH1 通道 1）、Y2（CH2 通道 2）、CH1 + CH2 叠加、ALT（交替）和 CHOP（继续），分别由面板上的方式选择 MODE 开关控制。

当选择 ALT（交替）方式时，内部的电子开关便产生一个 0 ~ 6.3V 之间的跳变的方波信号，如图 1-3

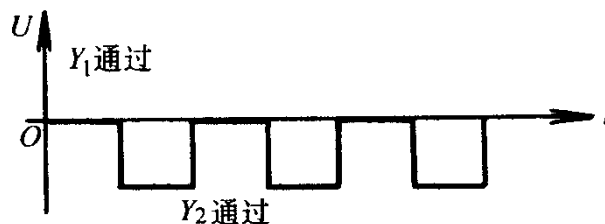


图 1-3 “ALT”工作方式的开关信号

所示。在方波为 0V 时，只允许通道 1 的信号通过；当方波为 6.3V 时，则是通道 2 的信号通过。电子开关的转换速度受扫描信号的控制，被测信号的频率越高，扫描信号的频率也就越高，电子开关的转换速度会越快。由于荧光屏的余辉作用，这种快速交替显示的断续现象人眼无法觉察得到。该工作方式只适合显示频率较高的信号波形。

在 CHOP (断续) 方式下, 电子开关不受扫描信号的控制, 此时, 它会振荡并产生频率为 50kHz 的方波, 对两路被测信号 (Y1 和 Y2) 进行高速转换, 屏幕上显示的两路信号波形是断续的。此方式只适合显示频率较低的信号波形。

选择 CH1 或 CH2 时, 只能实现 1 或 2 单路信号的测量, 此时屏幕单踪显示。

使用 CH1 + CH2 方式时, 电子开关不工作, 两路信号均能送到放大器并相加, 屏幕上显示的是两路波形相加后的波形。

6) Y 通道的输入插座。插座 1、插座 2。

7) 示波器探头。10:1 (1:1) 的衰减, 作用是使被测信号能顺利通过, 不受外界信号的干扰。

(2) X 通道的控制旋钮

1) X 轴步进式 (水平) 扫描时间开关。调节显示波形周期 (频率) 的大小, 扫描时间越大, 显示周期越小。开关代表秒 (毫秒、微秒) / 格 $[s (ms, \mu s) / div]$, 实际周期读数为
实际格数 $\times$ 开关指数

2) X 轴 (水平) 扫描时间微调旋钮。扫描时间连续可调, 一般顺时针扫描时间减少, 显示波形周期数就减少, 旋足为校准位置, 逆时针扫描时间增大, 显示波形周期数就增多。

3) X 轴 (水平) 位移。左右移动被测显示波形。

4) 触发源选择开关。主要作用是产生与被测信号同步的扫描电压, 使屏幕上的波形能稳定而完整地显示出来。选择触发信号有内触发 (通道 CH1 或通道 CH2 触发)、通道 2 触发 (CH2 上的输入信号是触发信号)、电源触发 (电源频率成为触发信号)、外触发 (触发输入上的触发信号是外来信号, 用于特殊信号的触发)。

5) 外触发输入插座。外来信号触发的输入端。

6) 触发电平旋钮。用于调节被测信号在某一电平的触发同步。

7) 触发极性按钮。用于选择信号的上升沿和下降沿触发。

8) 触发方式选择

① 自动扫描方式 (AUTO)。开关选择此方式时, 无触发信号输入, 扫描系统也能进行扫描, 屏幕上显示扫描基线; 而当加入触发信号时, 又能进行触发扫描。一般常用这种工作方式。

② 常态方式 (NORM)。在有触发信号并产生有效触发脉冲时, 锯齿波发生器才工作, 屏幕上有扫描亮线, 当没有输入信号或触发电平过低时, 都没有触发脉冲输出, 屏幕上无扫描线。

9) 同步可分为三种方式:

① 内同步。从 Y 轴放大器取出被测信号的电压控制锯齿波周期。一般采用这种同步。

② 外同步。通过“外触发输入电路”接线柱, 从外部输入一个电压控制锯齿波周期。

③ 电源同步。用 50Hz 交流市电来控制锯齿波的周期, 用以测量与电源有关的信号。

使用示波器应注意的问题如下:

(1) 亮度、聚焦和辅助聚焦的调节

1) 亮度的调节。调节亮度可能影响显示波形的聚焦, 因此, 调节亮度后, 需适当调节聚焦。注意不要将辉度 (亮度) 调得太亮, 也不能使亮点经常停在一个位置上, 以免损坏荧光屏。

2) 聚焦调节。使其在屏面上聚成小点, 保证显示波形清晰。

3) 辅助聚焦调节。使光点在屏面上的有效工作面都成为一个清晰的小点, 通常与聚焦调节配合使用。

(2) 扫描方式选择 目前生产的示波器绝大部分采用线性扫描, 可分为连续扫描和触发扫描。当观察连续信号波形时, 采用连续扫描; 当观察脉冲波形, 测量脉冲参数, 特别是在观察占空比 (即 T_w/T 比较小) 大的脉冲波形时, 必须选择触发扫描。

2. 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, 万用表的交流电压挡也可用于测量交流电压, 但其频率特性差 (一般为 $45 \sim 1000\text{Hz}$), 且内阻小, 故用于工频信号的测量, 图1-4所示为晶体管毫伏表面板图。

常用电子电压表的原理框图如图 1-5 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。

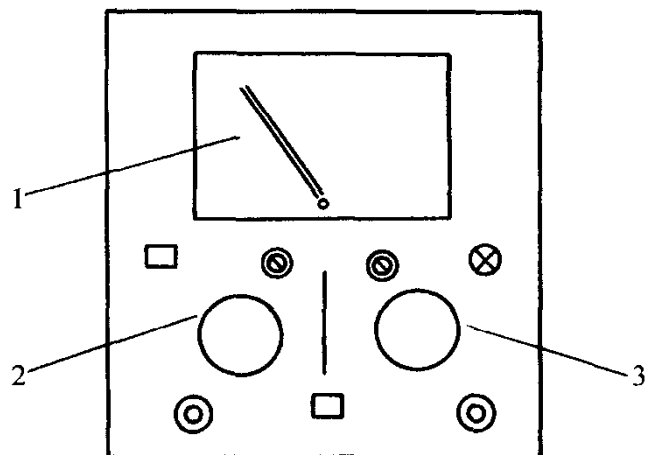


图 1-4 晶体管毫伏表面板图
1—双针表头 2—CH1 3—CH2

(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挡, 以方便对输入不同大小信号的测量。

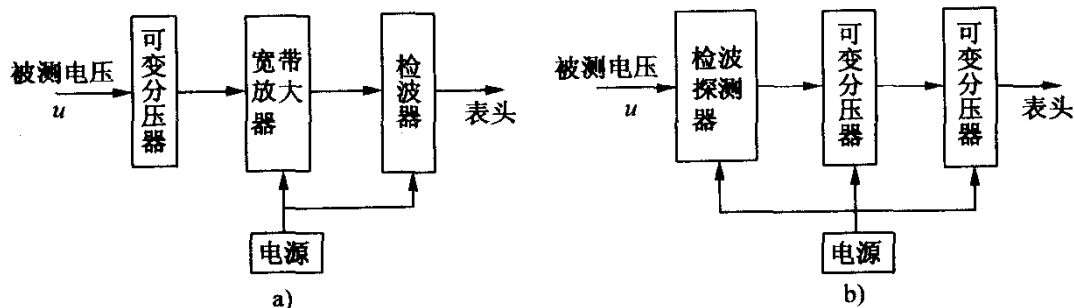


图 1-5 电子电压表的原理框图

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, 应读取相应测量挡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

“上”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。

3. 信号发生器

信号发生器是用来产生不同频率和波形的装置，图 1-6 所示为信号发生器面板图。

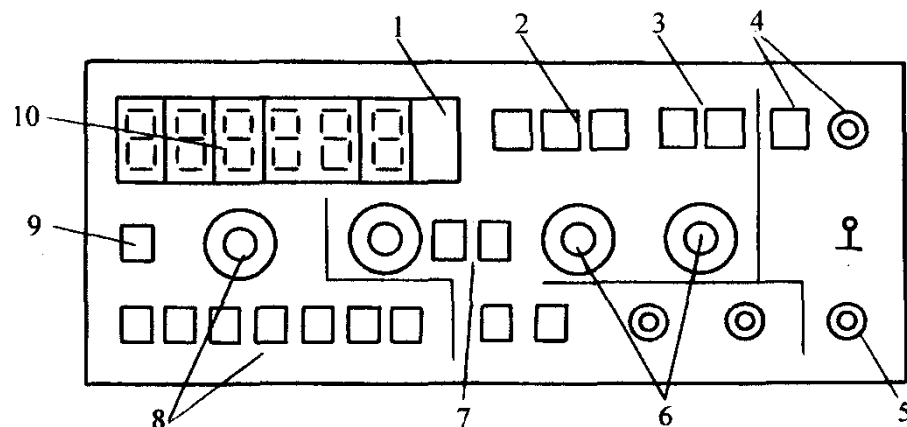


图 1-6 信号发生器面板图

1—单位 2—波形选择 3—衰减 4—功率输出 5—电压输出端 6—幅度调节
7—占空比调节 8—频率调节 9—电源开关 10—频率显示

按输出信号波形的不同，可将其分为正弦信号发生器（输出正弦波）、脉冲信号发生器（输出不同频率、脉冲宽度和幅度的脉冲信号）及函数信号发生器（能产生并输出多种波形信号）三大类。

常用的为正弦信号发生器和函数信号发生器两类。函数信号发生器可选择输出正弦波、方波和三角波三种信号波形。输出信号的电压幅度，可以通过输出幅度调节旋钮进行连续调节；输出电压信号的频率，可以由分挡开关和调节旋钮联合进行调节。对于函数信号发生器输出波形的种类，由波形选择开关进行选择。

(1) 开关、旋钮功能说明

- 1) 频率显示器。内测频率和内测频率的数值指示。
- 2) 波形选择按钮开关。选择正弦波、方波或三角波。
- 3) 频率倍乘开关。按键式开关共有六挡，将产生信号的频率分为六个频段，分别为“1”、“10”、“100”、“1k”、“10k”、“100k”，通过换挡实现频段转换。
- 4) 频率调节旋钮。在每一频段内，调节旋钮可以改变输出信号的频率，联合频率倍乘开关，使输出信号频率连续可调，得到该函数信号发生器产生的频率范围内任意频率的信号。
- 5) 衰减按键。衰减按键分别为 10dB（20dB）、40dB、60dB，可按不同的组合同时使用，以获得不同的衰减量（衰减电压输出和功率输出的幅度）。
- 6) 输出调节旋钮。调节此旋钮，可以控制输出信号的大小；联合衰减按钮的调节，可以方便地得到输出幅度范围内所需的任意大小的信号。
- 7) 输出插孔。输出信号可以通过输出连接线由此输出。

- 8) 占空比控制开关及占空比调节。改变波形的对称度。
- 9) 幅度调节。调节电压输出和功率输出的幅度。
- 10) 频率计数选择开关。常态为“内”计数本机信号频率,“外”计数外测信号频率。
- 11) 输出波形选择。选择波形。
- 12) 外测信号频率输入端。测量外接信号频率。
- 13) TTL 输出端 (TTL OUT)。输出 TTL 电路所需的方波。
- 14) 电压输出端。信号输出端。
- 15) 压控扫频端 (VCF)。控制电压输入端。
- 16) 功率输出端。向负载提供更大的输出功率。

(2) 使用方法

- 1) 开机接通电源, 预热一段时间, 待输出稳定后, 即可使用。
- 2) 根据需要, 按下相应的“波形选择按钮”, 选择适当的波形。
- 3) 根据所需输出信号的频率, 选择对应的“频率倍乘开关”, 选择适当的输出信号频率范围, 并用“频率调节旋钮”调节所需的频率。
- 4) 在实际测量时, 根据所需要的信号幅度的大小, 选择适当的衰减量 (在 $0 \sim 50\text{dB}$ 范围内组合), 通过联合调节, 得到相应函数的输出信号。

4. 直流稳压电源

在许多电子线路中, 要求输入的电压稳定、连续可调, 并有较大的工作电流, 直流稳压电源可满足此种要求。稳压电源为双路输出电流 1A 、 2A 、 3A ; 输出电压范围为 $0 \sim 30\text{V}$, 连续可调。面板设置较为简单, 使用时应根据要求操作。图 1-7 所示为稳压电源面板图。

- 1) 开启电源开关, 指示灯亮, 表示电源接通。应预热 30min 。
- 2) 面板上设有两个电压表和两个电流表, 为两路电源分别使用。还有“电压监视”和“电流监视”的电压表和电流表。若需监视电压、电流时, 调节“电压粗调及细调”旋钮, 即可得到所需的电压值。
- 3) 若过载或短路, 电源保护无输出时, 应排除过载或短路故障, 按“启动”按钮, 电源即可恢复输出。
- 4) 输出电压由接线柱“+”、“-”端供给, “地”接线柱仅与机壳相连。与其他仪器连用时, 需注意“共地”问题。

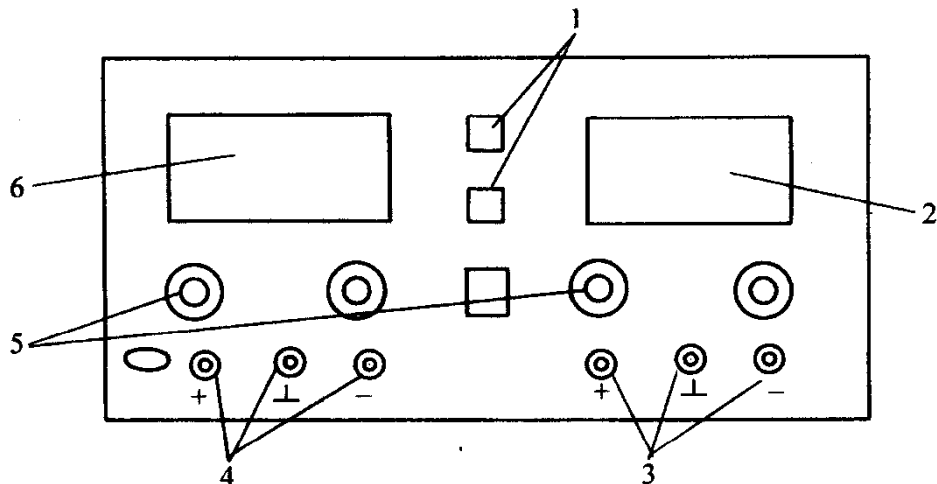


图 1-7 稳压电源面板图

1—电流电压显示选择 2、6—电压电流表 3、4—输出电压接线柱 5—电压粗调

5. 其他电子测量仪器

在电子测量实践中, 指针式万用表、数字式万用表和数字频率计等, 也都是常用的测量仪表。

(1) 指针式万用表 它是一种多用途、多量程的测量仪表, 主要用来测量电流、电压和电阻, 习惯上又称为三用表。有些型号的万用表还可用作测量电感量、电容量、功率及晶体管的 β 值等。万用表的测量灵敏度和精度相对来说较低, 测量时的频率特性也差 (测量信号的频率范围 $45 \sim 1000\text{Hz}$), 从而只能用于对工频或低频信号的测量, 测量交流信号时, 读数为有效值。

1) 使用万用表的一般方法

- ① 根据被测电量的类型 (电压和电流等), 将转换开关置于相应的位置, 确定量程。
- ② 测量电压、电流时, 所选量程最好使指针偏转在量程 $1/2$ 以上位置。
- ③ 指针式万用表的测试表棒有正、负之分, 测试电路的电量时, 连接应正确, 即红色表棒接电路中电压的正极 (标有 “+” 号的位置), 黑色表棒接电路中电压的负极 (标有 “-” 号的位置)。如果反接, 则可能会导致表头指针反向偏转, 严重时损坏表头。
- ④ 测量电压时, 两表笔与被测电路测试部分并联相接; 测量电流时, 则与被测电路测试部分串联相接; 测量电阻的阻值时, 两表笔与电阻的两端并联相连; 而测量晶体管、电容等的参数时, 则应将其端子插入万用表面板上的指定插孔。在测量电阻值时, 万用表在更换每一次量程时, 应先调零, 然后再测试。
- ⑤ 万用表的表盘上有多条标度尺, 读数时应根据被测电量, 观看对应的标度尺, 与量程挡联合读出正确的测量数值。

2) 使用万用表时应注意的问题

- ① 用万用表测量高压时, 不能用手触及表棒的金属部分, 以免发生危险; 在电路中测量电阻的阻值时, 应断电进行测量; 否则, 会烧坏万用表。
- ② 将万用表接入电路前, 应确保所选测量的类型及量程正确; 误用电流挡或电阻挡测量电压, 极易造成万用表损坏。
- ③ 测量大电压、大电流时, 不可带电拨动转换开关, 以免烧坏万用表。
- ④ 测量结束后, 应习惯将万用表的测量转换开关拨到 “交流电压” 最大量程挡, 以免自己或他人在下次使用时因粗心而造成仪表的损坏。

(2) 数字式万用表 其用途与指针式万用表类似, 它采用数字直接显示测量结果, 读数具有直观性和唯一性。且体积小, 测量精度高, 应用十分广泛。常用的数字万用表多为三位半显示, 测量时输入极性自动切换, 且具有单位、符号显示。数字式万用表在开始测量时, 一般会出现跳数现象, 应等待显示稳定后再读数, 有时显示数字一直在一个范围内变化, 则应取中间值。

数字式万用表的使用与指针式万用表大致相似, 两者在具体的使用上还存在着一些差异。指针式万用表的测量精度通常为 $2\% \sim 2.5\%$, 数字式万用表的测量精度为 $1\% \sim 2\%$, 因此, 对测量精度要求较高的场合, 应选用数字式万用表。在测量过程中, 指针式万用表的量程需在测量前由测量者预先选定, 而数字式万用表的量程则能自动转换。数字式万用表在测量参数值超量程时, 能自动溢出; 指针式万用表则会出现打表头的现象。因此, 当被测量参数值在测量前无法估计时, 一般选用数字式万用表较为方便。

数字式万用表对被测信号采用的是瞬时采样工作方式,测量时抗干扰较差;而指针式万用表测量较为稳定,抗干扰能力较强。因此,使用数字式万用表测量时,要求被测系统的“共地”较好。此外,不宜选用数字式万用表测量直流参数,因为直流工作状态下指针式万用表读数比数字式万用表准确。

就输入阻抗而言,数字式万用表比指针式万用表高很多。因此,数字式万用表更适用于高阻抗电路参数的测量。另外,一般指针式万用表测量电流的最大量程只有几百毫安,且无交流电流挡,因此,测量交流电流或大电流时,以选择数字式万用表为好。

(3) 数字频率计 主要测量并直接读取信号的频率、周期、脉冲宽度及对脉冲信号进行计数等。数字频率计内部装有高精度、高稳定度的振荡电路作时基信号,面板上装有多位显示七段数码管,并以十进制直接显示被测信号的频率或周期读数。使用十分方便,读数正确,测量精度在 $\pm 0.01\%$ 之间。

数字频率计的使用方法如下:

1) 频率和周期的测量。数字频率计的面板上一般设有测量选择开关、触发电平调节旋钮、输入端口、多位数码显示屏、复位按钮、电源开关、触发电平指示灯和脉冲电子指示灯等。测量被测信号的频率或周期时,将被测信号接至输入端,测量选择开关分别置于“频率”或“周期”位置,接通电源,即显示出信号的频率或周期值。

2) 计数。测量选择开关置于“计数”,即工作于计数状态,对被测脉冲数进行累加计数,数码管显示值不断翻转变换,计数器停止时,数值确定。按下复位按钮,数码管显示全部回零。

1.2 电路与电子测量基本知识及安全用电

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。

1.2.1 基本测量知识

1. 电子电路测量的基本知识

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。

2. 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 35000V 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。

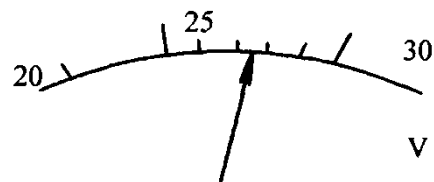


图 1-8 有效数字读取示意图

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。

1.2.2 误差的基本概念

1. 测量误差的各种表示方法

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。

(1) 绝对误差 测量仪表的指示值 X 与被测参量真实值 A_0 之间的差值，称为绝对误差，用 ΔX 表示，即

$$\Delta X = X - A_0$$

式中，真实值 A_0 是一个理想的概念。在实际测量时，测量真实值一般采用两种方法：一是以高一级标准仪表的指示值 A 来代替 A_0 ，称为实际值；二是采用多次测量的结果的平均值 A 代替真实值。此时的绝对误差

$$\Delta X = X - A$$

绝对误差是有单位、符号的值，其单位与被测参数单位相同，并不能说明测量的准确性。一般情况下，将与 ΔX 大小相等、符号相反的值，称为修正值，用 C 表示，即

$$C = -\Delta X = A - X$$

利用修正值可求出测量仪表所表示的实际值，即

$$A = X - C$$

仪器仪表的修正值通常由生产厂家随仪器仪表以数据表或曲线给出，用于对仪器仪表的读数值的修正。

(2) 示值相对误差 γ_x (又叫相对真值误差) 是绝对误差 ΔX 与仪表指示值 X 的比值，用百分比表示，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

相对误差只有大小，没有单位。在比较测量结果的误差程度时，仅有绝对误差是不够的。实际测量中，一般用相对误差来表示误差的大小。为了减小相对误差，在测量电压和电流时，指针式仪表量程的选择应尽可能使指针接近满偏转（或满刻度的 $2/3$ 以上）。另外，用万用表测量时，所选择的量程应尽可能地使指针指到标尺中心位置附近，此时读数误差最小。

(3) 满度相对误差 γ_m 满度相对误差是绝对误差 ΔX 与仪表满度值 X_m 的百分比，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

因为 γ_m 是用绝对误差 ΔX 与一个常数 X_m 的比值来表示的，所以实际上给出的是绝对误差的大小。若 γ_m 已知，则在同一量程内绝对误差是一个常数，因而可反映仪表的基本误差。

2. 测量误差的产生和消除

从误差的来源和性质入手去认识误差并削弱、消除误差，是最根本的途径和极为有效的措施。误差的产生主要有以下几个方面：

1) 仪器误差是仪器本身电气性能或机械性能不良造成的误差，如仪器校正不好、刻度不准等造成的误差。消除的方法是预先对仪器进行校准，配备性能优良的仪器，并定期计量或校准。

2) 使用误差也称为操作误差，指在使用过程中仪器和其他设备的安装、调节、布置不正确或使用不当所造成的误差。减小使用误差的方法是测量前详细了解和掌握仪器的使用方法，严格按操作规程使用仪器，提高操作技能及分析能力。

3) 方法误差是由于测试方法不够完善，依据的理论不够严格，或测量定义不明确，过度的简化或近似等所导致的误差。减小方法误差首先要根据被测的对象选择合理的测试方法，还要选择合适的仪器仪表，进行科学的分析和计算。

4) 人身误差是由于操作者测试习惯不良所引起的误差。例如，读刻度盘时视角不垂直表盘，读数时有偏大或偏小的习惯等。减小该误差，应提高操作和测试技能，改正不正确的测试习惯和方法。

1.2.3 安全用电

低电压和低电流也可能对人体造成伤害。因此，在使用仪器设备之前，请务必仔细阅读有关安全信息和操作说明，遵循下列安全事项的操作程序：

1) 在下列情况下要特别小心谨慎，测量 20V 以上的电压，测量大于 10mA 的电流，测量

带电感负载的交流电力线。

2) 每次使用之前,都要检查测量仪表、测试线和附件是否异常或损伤。如果发现测试线断裂或磨损、外观破裂、显示器无读数等,请不要试图再使用。

3) 进行电气测量时,身体切勿直接接触大地,也不要接触可能带电的裸露的金属端子、输出口、引线夹等。通过使用干燥的衣服、胶鞋、胶垫以及其他经认可的绝缘材料,保持您的身体与大地绝缘。

4) 切勿测量超过地电位 500V (DC/AC) 的电压。

5) 在不能确定被测电压的大小范围时,请将量程开关置于最大的量程位置。

6) 在有爆发性气体(如易燃易爆气体、水蒸气或灰尘等)的场合,切勿操作使用仪表。

7) 测量电压超过仪表的电压测量极限,有可能损坏仪表和危及操作人员的安全。仪表面板的规定为认可的仪表电压测量极限。

8) 插入电流插座时,切勿测量任何电压。

9) 不要使用其他未经指定或认可的熔断器来更换仪器内部的保护熔断器。只能换上同样型号的或相同电气规格的熔断器。为了避免电击,在更换熔断器之前,必须关闭交流电源开关,电源线拔离电源插座,以及测试线不能接入任何被测试电路或输入信号。

10) 不要使用其他未经指定或认可的电池来更换仪器内部的供电电池。只能换上同样型号的或相同电气规格的电池。为了避免电击,在更换电池之前,必须关闭交流源开关,电源线拔离电源插座以及测试线不能接入任何被测试电路或输入信号。

1.3 常用电子电路设计的安装调试及常见故障的检查

1.3.1 电子电路系统设计

1. 总体方案设计

由设计课题(任务书)给定的条件、技术指标及要求,设计出完整的电路。这一阶段的主要任务是准备好试验文件,包括画出主要单元电路、数据通路、输入、输出及主要控制信号等的原理框图;画出电路的详细逻辑图;给出实验的具体接线装配图及元器件清单;必要时配以文字说明。

1) 方案的可行性试验。方案的可行性试验就是对所选定的设计方案进行装调实验。实践表明,由于电子电路的复杂、多变、电子元器件参数的离散性,一个仅从理论上设计出来的电路往往是不成熟的,可能会存在着许多问题。通过实验就可以查出电路的问题,最终修改并完善电路。

2) 工艺设计及鉴定、实施技术指标的考核,并写出设计总结报告。

2. 电子电路的设计方法

(1) 模拟电路设计的基本方法 无论是民用的还是工程应用电子产品,大多是由模拟电路或模/数混合电路组合而成的。模拟装置(设备)一般是由低频电子线路或高频电子线路组合而成的模拟电子系统,如音频功率放大器、模拟示波器等。虽然它们的性能、用途各不相同,但其电路组成部分都是由基本单元电路组成的,电路的基本结构也具有共同的特点。一般来说,模拟装置(设备)由传感器电路、信号放大和变换电路及驱动和执行机构等三部