



面向“十二五”高等学校精品规划教材◎电气信息类  
高等教育课程改革项目研究成果

DIANZI DIANLU SHIYAN

# 电子电路实验

主 编 梅开乡 梅军进

副主编 陈大力 吴勇平

- **新**: 新思路、新领域、新技术、新变革
- **活**: 模块化、立体化、可扩展
- **精**: 精品、精心、精致

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十二五”高等学校精品规划教材·电气信息类  
高等教育课程改革项目研究成果

# 电子电路实验

主 编 梅开乡 梅军进  
副主编 陈大力 吴勇平

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书可以与《数字逻辑电路》和《模拟电子技术》相配套,也可以作为独立实践教学环节的教材。全书共分5章,内容包括:电子电路实验基础知识、模拟电子电路的基础实验、模拟电子电路的设计型实验、数字电子电路的基础实验、数字电子电路的设计型实验等。

本书可作为应用型本科、高职、高专院校的工科电气类、自控类、电子类、计算机类各专业的电子技术课程的“学生实验”、“课程设计”和“技能实训”教材,也可作为在校学生参加“全国大学生电子设计竞赛”的培训教材,还可作为工程技术人员从事消费类电子产品设计的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

电子电路实验 / 梅开乡, 梅军进主编. —北京: 北京理工大学出版社,  
2010. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2532 - 8

I. 电… II. ①梅…②梅… III. 电子电路 - 实验 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 143049 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http:// www. bhpress. com. cn](http://www.bhpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 352 千字

版 次 / 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 30.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

---

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

# 前言

电子技术是 21 世纪高新技术的“龙头”，各先进国家无不将它放在优先发展的地位。电子技术基础（又称模拟电子电路和数字电子电路）是电气类、自控类、电子类、计算机类各专业的一门重要的技术基础课，其显著的特征就是实践性与实用性。其实践教学环节包括：电子电路的基础验证型实验、设计型实验、电子产品的设计（即传统的课程设计）与电子产品制作四个环节的实践与训练。“电子电路实验”旨在加强学生的基本实验技能的训练，培养学生的职业能力。本书是省级教学研究项目“电气信息类专业产、学、研人才培养模式的研究”（立项编号 20040298）课题团队的教学研究成果，既可作为《数字逻辑电路》及《模拟电子技术》的实践环节配套教材，又可作为独立的电子技术实践环节教材。在教学内容的选取与编排方面，充分注意以下 8 点：

（1）以高速发展的大、中规模集成逻辑门电路和集成运放芯片为主线，重点介绍集成芯片的功能、性能参数、外部特性及其在信号检测、运算、转换、处理等电路中的应用。

（2）复杂的数字系统设计，从传统的以 MSI（中规模集成芯片）、LSI（大规模集成芯片）构成为主，转向同 FPGA（现场可编程门阵列器件）、GAL（通用阵列逻辑器件）等现代 VLSI（超大规模集成芯片）构成并重，使知识应用紧密结合生产实际并及时跟踪先进技术的发展。

（3）改变传统教材以 BJT（双极型晶体三极管）及其放大电路、TTL 数字集成芯片为主的实践内容体系，转向以占目前市场销售和使用 85% 以上份额的 MOSFET（绝缘栅场效应管）及其放大电路，门电路 CMOS4000 系列、74HC 系列数字集成芯片为主的内容体系，缩短了教学内容同市场应用之间的滞后时间。

（4）跟踪美国哈佛大学经典教材《电子学》（Horowitz 著，吴利民译），电子信息经典教材《电子电路设计基础》（Richard R. Spencer 著，张为译），《VHDL 教学系统设计（第 2 版）》（Mark Zwolinsk 著，李仁发译）等西方优秀教材的内容体系，将复杂的问题进行分解的设计思路。本书插图 285 幅，列举表格 83 个，可收到直观、形象、易懂的效果。

（5）产、学、研教学研究团队与中国教育装备行业的领航者——天煌教仪研发中心校企合作，分别以“天煌模电、数电实验箱，电子系统设计实验箱”硬件为平台，从众多院校本课程目前正在开设的实验项目中筛选出 27 个基础实验，25 个设计型实验。不但提供了良好的实验硬件保障，而且实现了四个方面的转移：一是从验证型实验转移到加强基本技能训练的设计型实验、综合型实验；二是从以小单元局部电路为主的实验转移到多模块、综合系统的实验；三是从单一实验室内实验形式转移到课上、课下，实验室内、外多元化的实验形式；四是从教学计划中依附于理论教学体系的“学生实验”，转移到为“全国大学生电子设



计竞赛”作铺垫的“技能训练”、“制作实训”，规范标准考核的独立的实践教学体系。

(6) 注重“新器件、新技术、新工艺、新成果”在电子电路实验、电子设计中的应用，以适应电子技术快速发展的需要。例如“PTC 暖风机节能温控器的设计”中的“PTC 发热器件”实验，“声光控节能开关的设计”中的“声光控技术”、“节能型开关器件”，“大棚低成本温度计的设计”中的“光柱式显示驱动器 LM3914 芯片”，“开关稳压电源的设计”中的“单片集成控制器 MC33374 芯片”和“软开关技术”等。

(7) 遵循“案例教学”的现代教学理念，立足于应用。全书列举了 52 个小型、大中型实用电子产品的设计案例，既能激发学生在电子技术领域“产、学、研”的兴趣，又能培养学生的动手能力、实践能力和可持续发展的能力。

(8) 在各个设计案例中特别注意介绍常用集成芯片的引脚图、主要电参数和极限参数，附录中的“开发工具 MAX + PLUS II 操作指南”，给运用现代数字器件 FPGA、GAL 进行数字系统的应用设计提供了硬件、软件技术方面的支持。

针对当今电子技术的学生实验、课程设计已成为独立的实践教学体系，在内容、方法和手段等方面都发生了重大变革的新情况。本书特别注意将电子技术的实践教学环节内容与“全国大学生电子设计竞赛”这一大家普遍感兴趣的课题相结合，注意将传统的电子设计方法与现代电子设计 (EDA) 技术相结合，注意将实践教学环节内容与有市场需求的消费类电子产品设计相结合，着力提高学生的职业能力、设计能力和创造能力。

本书第 1 章及附录由梅开乡编写，第 2、第 4 章由陈大力、吴勇平编写，第 3、第 5 章由梅军进、陈大力编写，全书由梅开乡统编、定稿。本书得到了浙江天煌科技实业有限公司研发中心和黄石理工学院电气与电子信息工程学院的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫，编者水平有限，书中难免有不当之处，敬请各位专家、同行、读者批评指正。

编著者梅开乡的电子邮件：Cims-hs2006@163.com。

编著者吴勇平（天煌教仪研发中心技术负责人）的联系方式：TEL: 0571 - 89978102, 13735431486；电子邮箱：wyp791223@yahoo.com.cn；地址：浙江省杭州市西湖科技园西园五路 10 号；天煌公司电子邮箱：tian-huang@vip.163.com。

编著者

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第1章 电子电路实验基础知识 .....         | (1)  |
| 1.1 电子电路实验的目的与要求 .....       | (1)  |
| 1.1.1 电子电路实验的目的 .....        | (1)  |
| 1.1.2 电子电路实验的一般要求 .....      | (2)  |
| 1.1.3 设计型实验的实验报告格式 .....     | (3)  |
| 1.1.4 实验报告的要求 .....          | (4)  |
| 1.2 实验室的安全操作规程 .....         | (4)  |
| 1.2.1 实验守则 .....             | (4)  |
| 1.2.2 人身安全 .....             | (5)  |
| 1.2.3 仪器、设备安全 .....          | (5)  |
| 1.3 实验室中常用的电子测量仪器 .....      | (6)  |
| 1.3.1 示波器及其应用 .....          | (6)  |
| 1.3.2 信号发生器及其应用 .....        | (12) |
| 1.3.3 电子电压表及其应用 .....        | (19) |
| 1.3.4 BT-3型频率特性测试仪及其应用 ..... | (24) |
| 1.3.5 数字万用表及其应用 .....        | (32) |
| 1.4 电子测量中的误差分析 .....         | (33) |
| 1.4.1 测量误差产生的原因及其分类 .....    | (33) |
| 1.4.2 测量误差的表示方法 .....        | (34) |
| 1.4.3 消除系统误差的主要措施 .....      | (34) |
| 1.5 模拟电子电路基础参数的测量方法 .....    | (35) |
| 1.5.1 阻抗的测量方法 .....          | (35) |
| 1.5.2 电压的测量方法 .....          | (37) |
| 1.6 数字集成芯片逻辑功能的测试方法 .....    | (38) |
| 1.6.1 静态测量法 .....            | (38) |
| 1.6.2 动态测量法 .....            | (40) |



|                                         |                  |
|-----------------------------------------|------------------|
| <b>第2章 模拟电子电路的基础实验（以天煌模电实验箱为平台）</b>     | <b>(41)</b>      |
| 实验 2.1 常用电子仪器的使用                        | (41)             |
| 实验 2.2 场效应管伏安特性的测试                      | (48)             |
| 实验 2.3 场效应管基本放大电路                       | (51)             |
| 实验 2.4 负反馈放大电路                          | (54)             |
| 实验 2.5 差动放大电路                           | (58)             |
| 实验 2.6 集成运算放大器性能指标的测试                   | (62)             |
| 实验 2.7 模拟运算电路                           | (67)             |
| 实验 2.8 有源滤波电路                           | (72)             |
| 实验 2.9 电压比较器                            | (77)             |
| 实验 2.10 波形产生电路                          | (80)             |
| 实验 2.11 OTL 功率放大器                       | (83)             |
| 实验 2.12 集成功率放大器                         | (87)             |
| 实验 2.13 集成直流稳压电源                        | (90)             |
| <br><b>第3章 模拟电子电路的设计型实验</b>             | <br><b>(95)</b>  |
| 实验 3.1 测量放大电路的设计                        | (95)             |
| 实验 3.2 场效应管放大器的设计                       | (98)             |
| 实验 3.3 正弦波、方波、三角波函数信号发生器的设计             | (101)            |
| 实验 3.4 具有恒流源的差分放大器的设计                   | (104)            |
| 实验 3.5 RC 有源滤波器的设计                      | (107)            |
| 实验 3.6 OCL 低频功率放大器的设计                   | (110)            |
| 实验 3.7 开关型直流稳压电源的设计与调试                  | (113)            |
| 实验 3.8 语音放大电路的设计                        | (122)            |
| 实验 3.9 入侵报警器的设计与调试                      | (127)            |
| 实验 3.10 水温测控电路的设计                       | (130)            |
| 实验 3.11 PTC 暖风机节能温控器的设计                 | (134)            |
| <br><b>第4章 数字电子电路的基础实验（以天煌数电实验箱为平台）</b> | <br><b>(138)</b> |
| 实验 4.1 CMOS 集成门电路逻辑功能的测试                | (138)            |
| ※实验 4.2 TTL 集成门电路逻辑功能的测试                | (140)            |
| ※实验 4.3 集成逻辑门电路的连接与驱动                   | (146)            |
| 实验 4.4 组合逻辑电路的设计与测试                     | (149)            |
| 实验 4.5 译码器与 LED 数码管显示                   | (152)            |



|              |                                 |              |
|--------------|---------------------------------|--------------|
| 实验 4.6       | 数据选择器及其应用 .....                 | (157)        |
| 实验 4.7       | 触发器及其应用 .....                   | (162)        |
| 实验 4.8       | 计数器及其应用 .....                   | (169)        |
| 实验 4.9       | 移位寄存器及其应用 .....                 | (174)        |
| 实验 4.10      | 555 时基电路及其应用 .....              | (179)        |
| 实验 4.11      | D/A、A/D 转换器及其应用 .....           | (185)        |
| 实验 4.12      | 电子秒表 .....                      | (190)        |
| 实验 4.13      | GAL 器件的一般设计过程及编程设计举例 .....      | (194)        |
| 实验 4.14      | GAL 组合逻辑电路的设计 .....             | (200)        |
| <b>第 5 章</b> | <b>数字电子电路的设计型实验 .....</b>       | <b>(205)</b> |
| 实验 5.1       | 智力竞赛定时抢答器的设计 .....              | (205)        |
| 实验 5.2       | $N(N \geq 6)$ 台设备顺序控制器的设计 ..... | (208)        |
| 实验 5.3       | 交通信号灯控制器的设计 .....               | (211)        |
| 实验 5.4       | 洗衣机控制器的设计 .....                 | (215)        |
| 实验 5.5       | 步进电动机控制器的设计 .....               | (221)        |
| 实验 5.6       | 霓虹灯控制器的设计 .....                 | (225)        |
| 实验 5.7       | 声、光控制节能开关电路的设计 .....            | (229)        |
| 实验 5.8       | 100 进制加/减计数器的设计 .....           | (232)        |
| 实验 5.9       | 蔬菜大棚低成本温度计的设计 .....             | (235)        |
| 实验 5.10      | 数字密码锁的设计 .....                  | (240)        |
| 实验 5.11      | GAL 时序逻辑电路的设计 .....             | (243)        |
| 实验 5.12      | 基于 FPGA 的滚动字符控制器的设计 .....       | (248)        |
| 实验 5.13      | 基于 FPGA 的数字频率计的设计 .....         | (252)        |
| 附录           | 开发工具 MAX + PLUS II 操作指南 .....   | (257)        |
| 实验 5.14      | 脉搏计的设计 .....                    | (257)        |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>                    | <b>(264)</b> |

# 第 1 章 电子电路实验基础知识

## 1.1 电子电路实验的目的与要求

### 1.1.1 电子电路实验的目的

电子技术基础（又称模拟电子电路与数字电子电路）是电类专业的一门重要的技术基础课，其显著特征之一，就是“实践性”，它包括：电子电路验证性实验、设计型实验、课程设计及其产品制作 4 个阶段的实践与训练。其中，第一、第二阶段的电子电路实验旨在加强学生对电子技术基础知识的掌握，使学生通过实验过程，掌握电子电路的基本实验技能，达到下述实践训练目标：

（1）在电子电路实验过程中，要用到万用表、示波器、信号源、稳压电源等电子测量仪器。熟悉这些电子测量仪器本身的技术特性与被测电子电路的技术特性，熟练掌握其测量技术，正确操作其测量过程，这是电类学科各专业学生应具备的最基本的学科技术素质与工程素质之一。通过电子电路的实验过程，可使学生学到并掌握各种电子仪器的测量技术与操作方法。

（2）在电子电路实验过程中，为了减小测量系统对被测电路的影响，往往要对测量系统进行设计，以决定采用何种测量系统及如何进行测量。测量系统设计的基本依据是电子电路的相关电参数特性，如电路的输入电阻、输出电阻、最高电压、最高频率等。测量系统的设计技术既涉及电子仪器的特性，又涉及被测电子电路的组成结构，因此，测量系统设计技术是一门综合技术。通过电子电路的实验过程，可使学生掌握测量系统的设计技术，以保证测量结果的正确性。

（3）元、器件是组成电子电路的基本单元，通过导线把不同类型、型号、规格的元、器件连接在一起，组合成不同类型的电子实验电路。元、器件的识别、选型，电气特性的了解和正确使用，管脚的识别与正确接线；实验箱（台）部件机械特性的了解和正确操作等，都是电子电路实验教学的基本内容。电子电路实验中的许多故障，往往都是由于不能正确使用电子元、器件造成的，因此，通过电子电路实验，使学生学会识别电子元、器件，学会用仪器仪表检测其性能参数。



(4) 要做成功一个设计型实验,对电路中的各种不同的电子元、器件实现正确的电路连接必不可少。电路连接技术虽然不像元、器件的识别、检测、使用那样复杂,但对于不同的电子元、器件应当采用什么样的连接方法,什么样的连接方式可保障实验的安全性和可靠性,需要在电子电路实验中不断地学习总结。通过电子电路实验,可使学生的焊接、插接、组装等基本技能得到训练。

(5) 电子电路的功能一般可以直接从调试过程中得到证实,而有关的技术指标、技术特性,则需要对测量的数据进行分析处理才能得到。因此,通过电子电路实验,可使学生掌握一定的测量数据处理与测量结果分析技术。

(6) 仿真分析是一项以计算机和电子技术理论为基础的电子电路实验技术,它不仅可以节省电路设计和调试的时间,还可以节约大量的硬件费用,已成为现代电子技术中的一个重要组成部分。因此,电子电路设计型实验中的一个重要内容就是学习使用有关的电子电路设计和仿真软件。在电子电路进入实际制作和调试之前,先进行计算机仿真,使电路设计合理,并学会运用仿真软件对电路进行测试,这是电子电路实验课程的又一重要教学目标。

(7) 电子电路实验注重培养学生分析问题的能力。学会根据具体的实验任务拟定测试电路、测试仪器、测试方法等实验方案,独立地完成实验过程,对实验现象进行理论分析,并学会根据实验数据的分析归纳出正确的实验结果,撰写出规范的实验报告。

(8) 电子电路实验注重培养学生独立解决问题的能力。学会根据设计任务书来查阅资料,进行方案选择、方案论证、器件选型、安装调试等,具备一定的科研能力、学习能力和可持续发展的能力。

### 1.1.2 电子电路实验的一般要求

#### 1. 实验前的要求

(1) 认真阅读实验指导书,明确实验目的要求,理解实验原理,熟悉实验电路及集成芯片,拟出实验方法和步骤,设计实验表格。

(2) 完成实验指导书中有关预习的相关内容。

(3) 初步估算(或分析)实验结果(包括各项参数和波形),写出预习报告。

#### 2. 实验中的要求

(1) 参加实验者要自觉遵守实验室规则。

(2) 严禁带电接线、拆线或改接线路。

(3) 根据实验内容合理地安排实验现场。准备好实验所需的仪器设备和装置并安放适当。按实验方案,选择合适的集成芯片,连接实验电路和测试电路。

(4) 要认真记录实验条件和所得各项数据、波形。发生小故障时,应独立思考,耐心排除,并记下排除故障过程和方法。实验过程中不顺利,并不是坏事,而可以从分析故障中增



强独立工作的能力。相反,实验“一帆风顺”也不一定收获大,能独立解决实验中所遇到的问题,把实验做成功,收获才是最大的。

(5) 发生焦味、冒烟故障,应立即切断电源,保护现场,并报告指导老师和实验室工作人员,等待处理。

(6) 实验结束时,可将记录结果送有关指导老师审阅签字。经老师同意后方可拆除线路,清理现场。

(7) 室内仪器设备不准随意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经老师允许不得动用。没有弄懂仪器设备的使用方法前,不得贸然使用。若损坏仪器设备,必须立即报告老师,作书面检查,责任事故要酌情赔偿。

(8) 实验过程中要严肃认真,要保持安静、整洁的实验环境。

### 3. 验证性实验后的要求

实验后要求学生认真写好实验报告。实验报告应包括如下内容:

(1) 实验目的。

(2) 列出实验的环境条件,使用的主要仪器设备的名称、编号、型号、数量,集成芯片的型号、规格、功能。

(3) 扼要记录实验操作步骤,认真整理和处理测试的数据,绘制实验原理电路图和测试的波形,并列表格或用坐标纸画出曲线。

(4) 对测试结果进行理论分析,得出简明扼要的结论。找出产生误差的原因,提出减少实验误差的措施。

(5) 记录产生故障情况,说明排除故障的过程和方法。

(6) 写出本次实验的心得、体会以及改进实验的建议。

## 1.1.3 设计型实验的实验报告格式

设计型实验是电子电路实验中的高层次实验,其实验报告撰写的要求和步骤如下:

(1) 标题。包括实验名称,试验者的姓名、班级、日期、地点等。

(2) 要求。包括所设计的电子系统的性能要求及功能要求。

(3) 实验用仪器。包括名称、型号、数量等。

(4) 电路原理。若设计的电路由几个单元电路组成时,则先用总体框图说明,然后结合框图逐一介绍各单元电路的工作原理。

(5) 单元电路的设计与调试步骤。包括:① 电路形式的选择;② 电路的设计,即对所选择电路中元、器件参数进行定量计算或工程估算;③ 电路的组装与调试。

(6) 整机联合调试与测试。



① 测量主要技术指标。报告中要说明各项技术指标的测量方法，画出测试原理图，记录并整理实验数据，正确选取有效数字的位数。根据实验数据进行必要的计算，列出表格，在方格纸上绘制出光滑的波形或曲线。

② 故障分析及说明。说明在单元电路和整机调试中出现的主要故障及解决方法，若有波形失真，要分析波形失真的原因。

③ 绘制完整的电路原理图，并标明调试后的各元件参数。

(7) 测量结果的误差分析。真值用理论值代替，求得测量结果的相对误差，并分析误差产生的原因。

(8) 本次实验中的收获、体会及对实验电路的改进意见。同学们每完成一项实验，肯定有成功的经验，也有失败的教训，应及时总结，不断提高。实验结束后，应对实验电路的设计方案，元、器件参数，测试方法等进行推敲，以确定是否有必要进一步修改，或改善电路性能，或降低成本，或改进步骤，或增减内容等，并将其写进改进的建议栏目中。

#### 1.1.4 实验报告的要求

每份实验报告应做到：

“书写简洁、文理通顺、图表规范、符号标准、讨论深入、结论简明”。

### 1.2 实验室的安全操作规程

#### 1.2.1 实验守则

(1) 在进入实验室前，必须做好实验项目的预习报告，明确实验目的、步骤、原理，了解操作规程。

(2) 按时进入实验室，不能将与实验无关的物品带入室内，在老师的指导下进行认真操作。与本次实验内容无关的仪器设备及材料不得擅自用。不能将实验室的仪器、材料及物品带出实验室。

(3) 在实验过程中，实事求是地记录数据，不抄袭、不伪造，保持严谨的科学态度。实验完毕，应将实验记录交给实验指导老师审查，签字认可后，方可离开实验室。

(4) 室内保持安静，不得高声喧哗，随便离位，谈笑打闹。实验室内严禁抽烟，严禁随地吐痰，严禁吃零食和乱扔果皮纸屑。

(5) 做实验时注意安全，防止人身及设备事故的发生。若发生异常现象，及时向指导老师报告，并保护现场，不得自行处理。



(6) 爱护仪器设备, 节约用水、用电及实验材料。实验完毕, 应将实验用的器材摆放整齐, 实验场地打扫干净, 做到实验台无灰尘、无水滴, 地上无纸屑及杂物, 实验柜(箱)内整齐干净。夏天严禁穿背心、拖鞋或赤脚进入实验室。

(7) 对违反实验规章制度和操作规程, 擅自拆卸仪器而造成事故者, 对损坏元、器件材料及设备者, 按《实验室仪器设备的借用、损坏、丢失赔偿处理办法》进行赔偿处理。

### 1.2.2 人身安全

实践证明, 人体触电时, 通过的电流达到 50 mA 时就有生命的危险, 达到 100 mA 时, 将置人于死地。电子电路实验的电源电压有 220 V (或 380 V), 为非安全电压, 可以使人有触电危险。因此, 在实验过程中要求严格遵守实验室的各项安全操作规程, 严肃认真, 一丝不苟, 确保实验的顺利完成。在实验过程中应注意以下几点:

(1) 不准擅自接通电源, 接通 220 V 电源时, 应先告知实验合作者。

(2) 通电后不允许人体触及任何带电部位, 严格遵守“先接线后通电”、“先断电后拆线”的操作顺序。

(3) 不得带电操作, 以防触电事故发生。进实验室最好穿胶底鞋, 各种仪器设备应有良好的接地线。

(4) 仪器设备、实验装置中通过强电的连接导线应有良好的绝缘外套, 芯线不得外露。

(5) 在进行强电或具有一定危险性的实验时, 应有两人以上合作; 测量高电压时, 应采用单手操作并站在绝缘垫上, 或穿上厚底胶鞋。

(6) 万一发生触电事故, 应迅速切断电源, 若距电源开关较远时, 可用绝缘器具将电源线切断, 使触电者立即切断电源并采取必要的急救措施。

### 1.2.3 仪器、设备安全

(1) 使用仪器前, 应认真阅读使用说明书, 掌握仪器的使用方法和注意事项。

(2) 使用仪器时, 应按照说明书要求正确接线。

(3) 实验过程中, 注意力必须高度集中。当闻到焦糊味, 或见到冒烟和火花, 或听到“噼啪”的响声, 感到设备过热及出现保险丝熔断等异常现象时, 应立即切断电源, 在故障未排除前不得再次开机。

(4) 实验过程中, 应根据要求操作面板上的开关或按钮, 切忌用力过猛。

(5) 移动仪器设备时, 必须轻拿轻放。未经实验指导老师允许不得随意调换仪器, 更不准擅自拆卸仪器设备。

(6) 测试完毕, 应将仪器面板上的各种旋钮、开关置于合适的位置, 例如将数字万用表功能开关旋至“OFF”位置等。

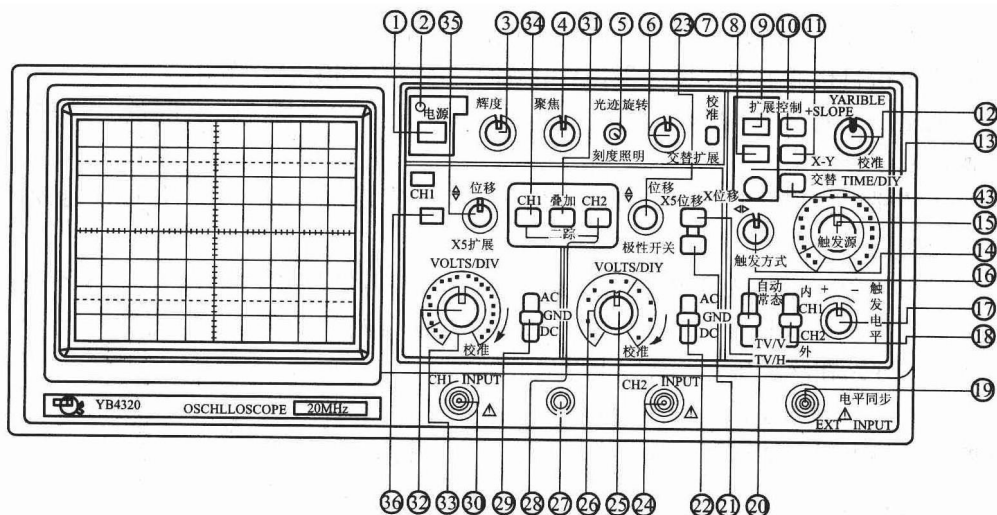
(7) 在连接实验线路时, 应在电路连接完成并经检查无误后, 再接通电源及信号源。



## 1.3 实验室中常用的电子测量仪器

### 1.3.1 示波器及其应用

示波器是近代电子科学领域的重要测量仪器，也是其他许多领域广泛使用的测量工具。示波器不仅能直接观察电压（或电流）的波形，而且能测量电压、频率、相位等参数，也可以利用传感器将各种非电量（如温度、压力、位移、热量、磁感应强度、照度等）转换为电参数，然后利用示波器进行观察和测量。现以 YB4320/20A/40/60 型双踪示波器为例（其前面板如图 1-1 所示），介绍示波器的一般使用方法。



\*仅YB4320A有交替触发

图 1-1 YB4320/20A/40/60 型双踪示波器前面板示意图

#### 1. YB4320/20A/40/60 型双踪示波器旋钮和开关的功能

(1) 电源及示波管控制系统。交流电源插座，该插座下端装有保险丝管。

①—电源开关（POWER）：按键弹出即为“关位置”，按下为“开”位置。

②—电源指示灯：电源接通时，指示灯亮。

③—亮度旋钮（INTENSITY）：顺时针方向旋转，亮度增强。

④—聚焦旋钮（FOCUS）：用来调节光迹及波形的清晰度。

⑤—光迹旋转旋钮（TRACE ROTATION）：用于调节光迹与水平刻度线平行。

⑥—刻度照明旋钮（SCALE ILLUME）：用于调节屏幕刻度亮度。

(2) 垂直系统。



⑩—通道1输入端 [CH<sub>1</sub> INPUT (X)]: 用于垂直方向输入。在 X—Y 方式时输入端的信号成为 X 信号。

⑫、⑲—交流—接地—直流: 耦合选择开关 (AC - GND - DC) 选择垂直放大器的耦合方式。

- 交流 (AC): 垂直输入端由电容器来耦合。
- 接地 (GND): 放大器的输入端接地。
- 直流 (DC): 垂直放大器输入端与信号直接耦合。

⑮、⑳—衰减开关 (VOLT/DIV): 用于选择垂直偏转灵敏度的调节。如果使用的是 10:1 探头, 计算时将幅度  $\times 10$ 。

⑮、㉑—垂直微调旋钮 (VARIABLE): 垂直微调用于连续改变电压偏转灵敏度。此旋钮在正常情况下, 应位于顺时针方向旋到底的位置。将旋钮逆时针方向旋到底, 垂直方向的灵敏度下降 2.5 倍以上。

⑳、㉒—CH<sub>1</sub>  $\times 5$  扩展, CH<sub>2</sub>  $\times 5$  扩展 (CH<sub>1</sub>  $\times 5$  MAG, CH<sub>2</sub>  $\times 5$  MAG): 按下  $\times 5$  扩展键, 垂直方向的信号扩大 5 倍, 最高灵敏度为 1 mV/div。

㉑、㉓—垂直移位 (POSITION): 调节光迹在屏幕中的垂直位置。

垂直方式工作按钮 (VERTICAL MODE): 垂直方向的工作方式选择。

㉒—通道1选择 (CH<sub>1</sub>): 屏幕上仅显示 CH<sub>1</sub> 的信号。

㉒—通道2选择 (CH<sub>2</sub>): 屏幕上仅显示 CH<sub>2</sub> 的信号。

㉒、㉔—双踪选择 (DUAL): 同时按下 CH<sub>1</sub> 和 CH<sub>2</sub> 按钮, 屏幕上会出现双踪并自动以断续或交替方式同时显示 CH<sub>1</sub> 和 CH<sub>2</sub> 的信号。

㉒—叠加 (ADD): 显示 CH<sub>1</sub> 和 CH<sub>2</sub> 输入电压的代数和。

㉒—CH<sub>2</sub> 极性开关 (INVERT): 按此开关时 CH<sub>2</sub> 显示反相电压值。

(3) 水平方向部分。

⑮—扫描时间因数选择开关 (TIME/DIV): 共 20 挡。在 0.1  $\mu$ s/div  $\sim$  0.2 s/div 选择扫描速率。

⑪—X—Y 控制键: 选择 X—Y 工作方式时, 垂直偏转信号接入 CH<sub>2</sub> 输入端, 水平偏转信号接入 CH<sub>1</sub> 输入端。

㉑—通道2垂直移位键 (POSITION): 控制通道2信号在屏幕中的垂直位置, 当工作在 X—Y 方式时, 该键用于 Y 方向的移位。

⑫—扫描微调控制键 (VARIABLE): 此旋钮以顺时针旋转到底时处于校准位置, 扫描由 Time/div 开关指示。该旋钮逆时针方向旋转到底, 扫描速度减慢 2.5 倍以上。正常工作时, 该旋钮位于校准位置。

⑭—水平移位 (POSITION): 用于调节轨迹在水平方向移动。顺时针方向旋转, 光迹右移, 逆时针方向旋转, 光迹左移。



⑨—扩展控制键 (MAG  $\times 5$ )、(MAG  $\times 10$ , 仅 YB4360): 按下去时, 扫描因数  $\times 5$  扩展或  $\times 10$  扩展。扫描时间是 Time/div 开关指示数值的  $1/5$  或  $1/10$ 。例如, 用  $\times 5$  扩展时,  $100 \mu\text{s}/\text{div}$  为  $20 \mu\text{s}/\text{div}$ 。部分波形的扩展: 将波形的尖端移到水平尺寸的中心, 按下  $\times 5$  或  $\times 10$  扩展按钮, 波形将扩展 5 倍或 10 倍。

⑧—ALT 扩展按钮 (ALT—MAG): 按下此键, 扫描因数  $\times 1$ 、 $\times 5$  或  $\times 10$  同时显示。此时要把放大部分移到屏幕中心, 按下 ALT—MAG 键。扩展以后的光迹可由光迹分离控制键移位距  $\times 1$  光迹  $1.5 \text{ div}$  或更远的地方。同时, 使用垂直双踪方式和水平 ALT—MAG 可在屏幕上同时显示四条光迹。

#### (4) 触发 (TRIG)。

⑬—触发源选择开关 (SOVRCE): 选择触发信号源。内触发 (INT):  $\text{CH}_1$  或  $\text{CH}_2$  上的输入信号是触发信号。通道 2 触发 ( $\text{CH}_2$ ):  $\text{CH}_2$  上的输入信号是触发信号。电源触发 (LINE): 电源频率成为触发信号。外触发 (EXT): 触发输入上的触发信号是外部信号, 用于特殊信号的触发。

⑭—交替触发 (ALT TRIG): 在双踪交替显示时, 触发信号交替来自于两个 Y 通道, 此方式可用于同时观察两路不相关的信号。

⑮—外触发输入插座 (EXT INPVT): 用于外部触发信号的输入。

⑯—触发电平旋钮 (TRIG LEVEL): 用于调节被测信号在某一电平触发同步。

⑩—触发极性按钮 (SLOPE): 触发极性选择, 用于选择信号的上升沿和下降沿触发。

⑫—触发方式选择 (TRIG MODE): 自动 (AUTO) 是指在自动扫描方式时, 扫描电路自动进行扫描。在没有信号输入或输入信号没有被触发同步时, 屏幕上仍然可以显示扫描基线。常态 (NORM) 是指有触发信号才能扫描, 否则屏幕上无扫描线显示。当输入信号频率低于  $20 \text{ Hz}$  时, 用常态触发方式。

⑪—Z 轴输入连接器 (后面板) (Z AXTS INPVT): Z 轴输入端。加入正信号时, 辉度降低; 加入负信号时, 辉度增加。常态下的  $5 V_{p-p}$  的信号能产生明显的辉度调节。

⑬—通道 1 输出 ( $\text{CH}_1 \text{ OUT}$ ): 通道 1 信号输出连接器, 可用于频率计数器输入信号。

⑦—校准信号 (CAL): 电压幅度为  $0.5 V_{p-p}$  频率为  $1 \text{ kHz}$  的方波信号。

⑳—接地柱 ( $\perp$ ): 接地端。

## 2. YB4320/20A/40/60 型双踪方波器的基本操作方法

### (1) 电源和扫描。

① 确认所用市电电压为  $198 \sim 242 \text{ V}$ , 确保所用保险丝为指定的型号。

② 断开“电源”开关, 电源开关 (POWER) 弹出即为“关”位置。将电源线接入。

③ 设定各个控制键在下列相应位置。亮度 (INTENSITY): 顺时针方向旋转到底; 聚焦 (FOCUS): 中间; 垂直移位 (POSITION): 中间 ( $\times 5$ ) 键弹出; 垂直方式:  $\text{CH}_1$ ; 触发方式 (TRIG MODE): 自动 (AUTO); 触发源 (SOVRCE): 内 (INT); 触发电平 (TREG



LEVEL): 中间; 时间/格 (Time/div):  $0.5 \mu\text{s}/\text{div}$ ; 水平位置:  $\times 1$  ( $\times 5 \text{ MAG}$ ) ( $\times 10 \text{ MAG}$ ) 均弹出。

④ 接通“电源”开关, 大约 15 s 后, 出现扫描光迹。

(2) 聚焦。

① 调节“垂直位移”旋钮, 使光迹移至荧光屏观测区域的中央。

② 调节“辉度 (INTENSITY)”旋钮将光迹的亮度调至所需要的程度。

③ 调节“聚焦 (FOCUS)”旋钮, 使光迹清晰。

(3) 加入触发信号。

① 将下列控制开关或旋钮置于相应的位置。垂直方式:  $\text{CH}_1$ ;  $\text{AC—GND—DC}$  ( $\text{CH}_1$ ):  $\text{DC}$ ;  $\text{V}/\text{div}$  ( $\text{CH}_1$ ):  $5 \text{ mV}$ ; 微调 ( $\text{CH}_1$ ): ( $\text{CAL}$ ) 校准; 耦合方式:  $\text{AC}$ ; 触发源:  $\text{CH}_1$ 。

② 用探头将“校正信号源”送到  $\text{CH}_1$  输入端。

③ 将探头的“衰减比”旋转置于“ $\times 10$ ”挡位置, 调节“电平”旋钮使仪器触发。

### 3. YB4320/20A/40/60 型双踪方波器的测量操作方法

(1) 电压测量。

① 电压的定量测量。将“ $\text{V}/\text{div}$ ”微调置于“ $\text{CAL}$ ”位置, 就可以进行电压的定量测量。测量值可由下列公式计算后得到。

用探头“ $\times 1$  位置”进行测量时, 其电压值为:

$$U = \text{V}/\text{div 设定值} \times \text{信号显示幅度}(\text{div})$$

用探头“ $\times 10$  位置”进行测量时, 其电压值为:

$$U = \text{V}/\text{div 设定值} \times \text{信号显示幅度}(\text{div}) \times 10$$

② 直流电压测量。该仪器具有高输入阻抗、高灵敏度和快速响应的优势, 下面介绍测量过程:

- 将“扫描方式”开关置于“ $\text{AUTO}$ ” (自动) 位置, 选择“扫描速度”使扫描光迹不发生闪烁的现象。

- 将“ $\text{AC—GND—DC}$ ”开关置于“ $\text{GND}$ ”位置, 且将被测电压加到输入端。扫描线的垂直位移即为信号的电压幅度。如果扫描线上移, 则被测电压相对地电位为正; 如果扫描线下移, 则该电压相对地电位为负。电压值可用上面公式求出。例如, 将探头衰减比置于“ $\times 10$ ”位置, 垂直偏转因数 ( $\text{V}/\text{div}$ ) 置于“ $0.5 \text{ V}/\text{div}$ ”, 微调旋钮置于“ $\text{CAL}$ ”位置, 所测得的扫描光迹偏高 5 div。根据公式, 被测电压为:

$$0.5 (\text{V}/\text{div}) \times 5 (\text{div}) \times 10 = 25 (\text{V})$$

③ 交流电压测量。调节“ $\text{V}/\text{div}$ ”切换开关到合适的位置, 以获得一个易于读取的信号幅度。从如图 1-2 所示的图形中读出该幅度并用公式计算之。

当测量叠加在直流电压上的交流电压时, 将“ $\text{AC—GND—DC}$ ”开关置于“ $\text{DC}$ ”位置时就可测出所包含直流分量的值。如果仅需测量交流分量, 则将该开关置于“ $\text{AC}$ ”位置。