

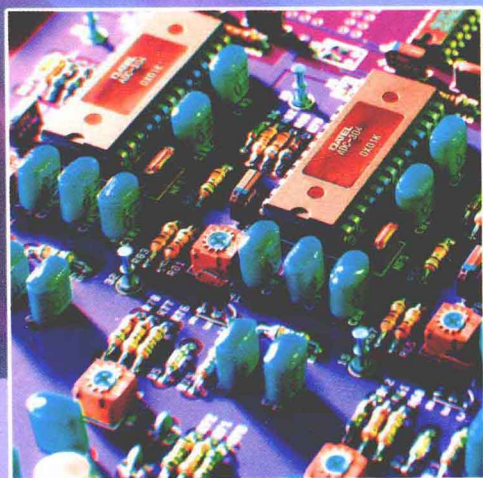


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工学实验

第四版

王建华 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



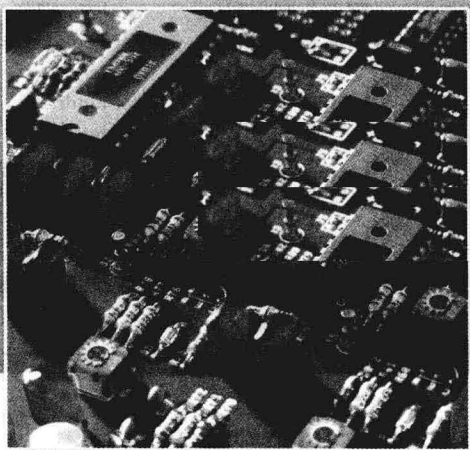
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工学实验

第四版

Diangongxue Shiyān

王建华 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是西安交通大学电工电子教学实验中心在开展国家工科基础课程电工电子教学基地、国家级电工电子实验教学示范中心和“电工电子技术(电工学)”国家精品课程建设工作的基础上,依据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的“电工电子技术”课程教学基本要求,为适应高等学校工科非电类专业“电工电子技术”课程改革的需要而修订的。

本书保持了第三版的基本特点,既适应电工、电子实验单独设课的需要,又考虑了培养学生能力循序渐进的过程,采用实验的内容从验证到设计再到综合性的教学模式,并继续保持实验内容具有应用性、先进性、趣味性和综合性的特点。

本书共分 5 章,包括电工学实验基本知识,基本电量的测量及常用仪器、仪表的使用方法,电工学基础实验,电工学综合设计性实验,电工学仿真实验。

本书承上海交通大学朱承高教授主审。

本书可与刘晔主编的《电工技术》(电工学 I)和王建华主编的《电子技术》(电工学 II)及其他电工电子技术教材配套使用。本书可以作为电工、电子实验独立设课的教材,面向机械、能源、动力、材料、化工、建筑、管理类专业本、专科学生开课,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验/王建华主编.—4 版.—北京:高等教育出版社,2011.2
ISBN 978-7-04-031520-2

I. ①电… II. ①王… III. ①电工学-实验-高等学校-教材 IV. ①TM1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 242621 号

策划编辑	金春英	责任编辑	王莉莉	封面设计	于文燕	责任绘图	尹文军
版式设计	余 杨	责任校对	杨健艺	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京四季青印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 14
字 数 340 000

版 次 1985 年 6 月第 1 版
2011 年 2 月第 4 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 20.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 31520-00

前 言

《电工学实验》(第四版)是西安交通大学电工电子教学实验中心在开展国家工科基础课程电工电子教学基地、国家级电工电子实验教学示范中心和“电工电子技术(电工学)”国家精品课程建设工作的基础上,依据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的“电工电子技术”课程教学基本要求,为适应高等学校工科非电类专业“电工电子技术”课程改革的需要而修订的。

本书有以下特色:

1. 适应电工、电子实验单独设课的需要,保持了第三版的结构体系,便于不同层次的学校选用。

2. 在实验内容的安排上既考虑了与理论教学保持同步,又考虑了培养学生能力循序渐进的过程,采用实验的内容从验证到设计再到综合性的教学模式。

3. 注意训练学生的实验技能,培养他们独立组织和进行实验的能力,又力求激发学生的学习兴趣,许多实验具有实用性、趣味性和综合性。

为了进一步将先进的计算机技术与电工电子实验结合起来,“以虚带实”、“以软代硬”,更进一步提高学生的学习兴趣,本书将计算机仿真实验作为一章单独编写。考虑到电子仪器的变化,将常用电子仪器改为以测量方法带动仪器的使用,而去掉了具体仪器的使用说明。对于虚拟仪器和可编程逻辑器件的使用,考虑到学时及一般院校的情况,也一并删除了。

本书共分5章,包括电工学实验基本知识,基本电量的测量及常用仪器、仪表的使用方法,电工学基础实验,电工学综合设计性实验,电工学仿真实验。使用时可以第3章实验为基础,再选做第4、5章的2个到3个实验,作为实验要求的提高。也可以在第3章个别实验的基础上,以第4、5章实验内容为主来达到教学的基本要求。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,与我校刘晔主编的《电工技术》(电工学Ⅰ)和王建华主编的《电子技术》(电工学Ⅱ)及其他电工电子技术教材配套使用。本书可以作为电工、电子实验独立设课的教材,面向机械、能源、动力、材料、化工、建筑、管理类专业本、专科学生开课。

参加本版修订工作的有王建华、唐胜安、刘晓晖、李瑞程、何文林。刘晓晖编写了第1章、第2章及第4章的实验25、26;唐胜安编写了第3章的数字电子技术部分实验及第4章的实验23、24;李瑞程编写了第3章的实验8、第4章的实验21、22,第5章5.1节及附录1;何文林编写了第3章电工技术部分实验、实验9及附录2;王建华编写了第3章模拟电子技术部分实验及第5章的仿真实验。本书由王建华任主编,负责全书的统稿和定稿工作。

本书承上海交通大学朱承高教授认真仔细审阅,对全书的体系结构、内容及各细节等方面给予了悉心指导,提出许多宝贵意见和修改建议,使本书增色不少。本书的编写工作得到高等教育

出版社和西安交通大学教务处的的大力支持。编写过程中,编者借鉴了有关参考文献。在本书出版之际,在此谨致以最诚挚的谢意。

由于我们水平有限,书中难免有不妥和错误之处,衷心欢迎读者,特别是使用本书的教师和学生批评、指正,提出改进意见,以便今后修订提高。

联系邮箱:jhwjt@mail.xjtu.edu.cn。

编 者

2010年6月于西安交通大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010) 58581118

目 录

第 1 章 电工学实验基本知识	1
1.1 电工学实验须知	1
1.1.1 实验课目的和要求	1
1.1.2 实验课几个阶段的具体要求	1
1.1.3 实验室安全用电规则	2
1.2 实验电路调试和常见故障的分析与检查	2
1.2.1 实验电路调试	2
1.2.2 常见故障的分析与检查	3
1.2.3 电子电路中的共地	5
1.3 常用电子元器件的识别与简单测试	6
1.3.1 电阻器、电容器、电感器的识别与简单测试	6
1.3.2 半导体二极管、晶体管的识别与简单测试	9
1.3.3 集成电路的识别	12
第 2 章 基本电量的测量及常用仪器、仪表的使用方法	14
2.1 电工电子测量的基本概念	14
2.2 测量误差及测量结果的处理	14
2.2.1 测量误差	14
2.2.2 误差的表示方法	15
2.2.3 测量结果的处理	16
2.3 基本电量的测量	17
2.3.1 电压、电流和功率的测量	17
2.3.2 时间、频率和相位的测量	20
2.3.3 放大电路输入阻抗和输出阻抗的测量	21
2.3.4 频率特性的测量	23
2.4 常用电工电子测量仪器、仪表的使用方法	24
2.4.1 万用表	24
2.4.2 交流毫伏表	27
2.4.3 函数信号发生器	28
2.4.4 直流稳压电源	29
2.4.5 示波器	31
第 3 章 电工学基础实验	43
3.1 电工技术基础实验	43
基本内容和要求	43
实验 1 直流电路中的基本测量——电源外特性及等效变换	44
实验 2 一阶 RC 电路的时域响应	48
实验 3 电感性负载电路及功率因数的提高	52
实验 4 交流电路的频率特性	57
实验 5 三相交流电路	61
实验 6 单相变压器和单相异步电动机的使用	64
实验 7 三相异步电动机的继电接触器控制	68
实验 8 $S7-200$ PLC 基本编程指令的训练	72
实验 9 变频器的使用	78
3.2 模拟电子技术基础实验	83
基本内容和要求	83
实验 10 单管低频电压放大器	84
实验 11 集成运算放大器的基本应用(一)——基本放大和信号调理电路	87
实验 12 集成运算放大器的基本应用(二)——信号发生	

电路	92	实验 29 集成运算放大器的	
实验 13 集成功率放大器	95	应用——有源滤波器	180
实验 14 直流稳压电源	98	实验 30 移位寄存器及其应用	184
实验 15 晶闸管的应用	103	实验 31 开关稳压电源性能的仿真	
3.3 数字电子技术基础实验	106	分析研究	189
基本内容和要求	106	附录	194
实验 16 集成逻辑门电路及其		附录 1 西门子 S7-200 系列可编程	
应用	107	控制器简介	194
实验 17 中规模集成组合逻辑		附录 1.1 可编程控制器的构成	
电路及其应用	112	与工作原理	194
实验 18 触发器、计数器及其应用	118	附录 1.1.1 可编程控制器的构成	194
实验 19 555 集成定时器及其		附录 1.1.2 可编程控制器的工作	
应用	125	原理	195
实验 20 D/A、A/D 转换器及其		附录 1.1.3 LAD 编辑器	195
应用	129	附录 1.2 S7-200 系列 PLC 的	
第 4 章 电工学综合设计性实验	135	编程元件	196
基本内容和要求	135	附录 1.3 S7-200 系列 PLC 的	
实验 21 可编程控制器的应用	135	基本编程指令	197
实验 22 音乐喷泉的控制	140	附录 1.3.1 基本位逻辑指令	197
实验 23 集成时序逻辑电路		附录 1.3.2 定时器	199
应用——数字钟	142	附录 1.3.3 计数器指令	201
实验 24 声、光、触摸三控电子		附录 1.3.4 比较指令	202
开关	147	附录 1.3.5 数据传送指令	203
实验 25 数字温度计	150	附录 1.3.6 移位指令	204
实验 26 直流电机转速调节实验	156	附录 1.4 STEP7-Micro/WIN	
第 5 章 电工学仿真实验	162	编程软件的使用	206
5.1 计算机辅助分析软件 PSpice		附录 1.4.1 SIMATIC S7-200 编程	
简介	162	软件	206
5.1.1 PSpice A/D 的基本功能	162	附录 1.4.2 建立 S7-200 CPU 的	
5.1.2 电路模拟过程	164	通信	206
5.1.3 电路图绘制软件 Capture	164	附录 1.4.3 STEP7-Micro/WIN 软件	
5.1.4 特性分析类型确定和参数		介绍	206
设定	167	附录 2 三菱 RF-S540 型变频器	
5.1.5 PSpice 应用举例	170	介绍	209
5.2 仿真实验	173	附录 2.1 变频器的型号与命名	
实验 27 交流电路的频率特性		含义	209
仿真分析	173	附录 2.2 变频器的操作	209
实验 28 单管低频电压放大器的		附录 2.3 接线端子使用说明	211
仿真分析	177	附录 2.4 主要功能参数简介	213
		参考文献	215

第 1 章

电工学实验基本知识

1.1 电工学实验须知

1.1.1 实验课目的和要求

电工学实验是电工技术(电工学Ⅰ)和电子技术(电工学Ⅱ)的实践性很强的后续课程。实验的目的不仅要帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是要训练学生的实验技能,使学生学会独立进行实验,树立工程实际观点和严谨的科学作风。

对学生实验技能训练的具体要求是:

- ① 能正确选择、使用常用的电工仪表、电工设备及常用的电子仪器。
- ② 能独立按电路图正确接线和查线。
- ③ 学习查阅手册,初步掌握常用电子元器件使用的基本知识。
- ④ 能准确读取实验数据,观察实验现象,测绘波形曲线;学习查找和排除简单的故障。
- ⑤ 能整理和分析实验数据,独立写出内容完整、条理清楚和整洁的实验报告。

1.1.2 实验课几个阶段的具体要求

为了培养学生分析问题与解决问题的能力,充分发挥他们的主动性,提高实验课的质量,对学生在电工学实验的课前预习、实验进行和课后总结三个阶段提出以下具体要求。

1. 课前预习阶段

- ① 通过阅读实验教材及有关参考书,思考预习要求中的思考题,明确实验目的,理解有关原理,熟悉实验电路和内容,了解或拟定主要实验步骤。
- ② 列出所使用的仪器设备、仪表和元器件。
- ③ 列出测量数据的表格和要观察的现象,并初步估算或分析预期的实验结果,了解实验中的注意事项。

2. 实验进行阶段

- ① 进实验室后要自觉遵守实验室规则。
- ② 实验前先清点和熟悉仪器、设备的性能和使用方法,按实验内容合理布置实验现场,并按实验方案连接实验电路。接线完毕后,要认真复查,确信无误后,经教师检查同意,方可接通电源进行实验。

③ 认真记录实验数据、波形,并分析是否正确。若发生故障,应尽量独立分析和排除,并记录排除故障的方法。

④ 实验完毕,原始记录应交指导教师审阅签字,经教师同意后才能拆除线路,将仪器整理复原。

⑤ 实验过程中如果发生事故应立即切断电源,保持现场,报告指导教师。

3. 课后总结阶段

做完实验后,应及时处理实验数据,根据要求一律用学校规定的实验报告纸撰写实验报告。实验报告要求文字通顺、简练,数据、图表齐全、规范正确,书写整洁。实验报告的具体内容包括:

① 实验目的。

② 实验电路图及主要仪器设备的型号、规格。

③ 实验教材要求课前完成的预习内容。

④ 认真整理和处理实验原始数据,用坐标纸描绘波形或画出曲线。

⑤ 按实验教材要求完成总结、问题讨论和本次实验的心得体会以及对改进实验的建议。记录产生故障的情况,说明故障排除的方法。

1.1.3 实验室安全用电规则

为了做好实验,确保人身和设备的安全,在做实验时,必须严格遵守下列安全用电规则:

① 接线、改接、拆线都必须在切断电源的情况下进行,即先接线后通电,先断电后拆线。

② 接线完毕后,要认真复查,确定无误后,再通知同组同学,方可接通电源。

③ 在电路通电情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线或连接点等裸露的带电部位。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

④ 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有超量程、过热、异味、异声、冒烟、火花等,应立即切断电源,并请教师检查。

⑤ 室内仪器设备不能任意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经教师允许不得动用。没有弄懂仪表、仪器、设备及元器件的使用方法前,不要贸然使用。若损坏仪器设备,必须立即报告教师,作书面检查,如为责任事故要酌情赔偿。

⑥ 注意仪器仪表允许的安全电压(或电流),切勿超过。当被测量的大小未知时,应从仪表的最大量程开始测试,然后逐渐减小量程。

1.2 实验电路调试和常见故障的分析与检查

由于电子技术实验中电路和故障情况较为复杂,所以本节主要介绍电子电路的调试与故障分析检查,电工技术实验中的有关问题将在各实验中介绍。

1.2.1 实验电路调试

1. 调试前的准备

实验电路接线完毕后,首先必须做好以下检查工作,才能通电调试。

(1) 检查接线

一般可直接对照电路原理图进行查线,按一定程序逐一检查;如果电路中布线较多,则可以以元器件(如运放、数字集成电路、晶体管等)为中心,依次检查其引脚的有关连线,这种方法不仅可查出错线或少接的线,还容易查出多余的线。

为确保连线的正确,对已查过的线通常应在电路图上标出,并用万用表电阻挡对接线作连通检查,这样可以同时发现接触不良的部位。

(2) 检查元器件安装情况

重点要检查二极管、晶体管、集成器件、电解电容等引脚与极性是否接错,元器件引脚之间有无短路。这里必须注意,在连线前要对元器件进行筛选,对其中不符合要求的元器件应予以剔除。

(3) 检查电源及信号源接入情况

检查电源供电(包括极性)及信号源连线是否正确;检查电源输入端与公共接地端之间是否存在短路。

电路经以上各项检查确认无误后,才可通电调试。

2. 调试方法

所谓电子电路的调试,是以达到电路设计指标为目的而进行的一系列测量、调整、再测量、再调整的反复进行过程。

(1) 先分调后总调

调试往往采用先分调后总调(联调)的方法。任何复杂电路都是由一些单元电路组成的,分调是按信号流程,逐级调整各单元电路,使其满足设计要求,而总调则是在分步完成各单元电路调试的基础上,逐步扩大调试范围,对其总体特性进行调试,最后完成整机调试,从而达到总体设计目标。

(2) 静态调试和动态调试

电子电路的一个重要特点是交直流并存,直流是电路工作的基础,因此电子电路有静态和动态调试之分。

静态调试一般是指在无外加信号的条件下(通常将电路信号输入端接地,以防干扰)所进行的直流测试和调整过程。例如对模拟电子电路,此过程应包括测量直流参数、静态工作点等,在放大电路实验中调整工作点使晶体管工作在线性区;对数字电路,其静态测试是测各输入端和输出端的高低电平值及逻辑关系等。

动态调试是在静态调试的基础上进行的。调试的方法是在电路的输入端接入适当频率和幅值的信号,按信号的流向逐级检测各有关点的参数、波形和性能指标是否满足设计要求,如有必要,再进一步合理修正电路参数。

(3) 注意事项

为了保证调试的效果,必须提高测量精度,减少测量误差,因此需要注意以下事项:测量仪器的输入阻抗必须远大于被测处的等效阻抗;测量仪器的带宽必须大于被测电路的带宽;测量仪器的接地端必须和被测电路的接地端连接在一起,以免引入干扰。

1.2.2 常见故障的分析与检查

在电工及电子电路中,不可避免地会出现各种各样的故障,在处理故障之前,应保持现场,切

勿随意拆除或改动电路。一般在发现故障之后,应从故障现场出发,进行分析、判断,通过反复检查测试,逐步找出产生故障的原因、性质,最后找出故障所在具体位置,以便及时排除。

1. 常见故障

(1) 测试设备故障

测试设备功能不正常,测试棒及探头损坏、断线等。

(2) 电路元器件故障

如晶体管、集成器件、电容、电阻等特性不良或损坏,常常可能使电路有输入而无输出,或输出异常。

(3) 接触不良故障

如插接点接触不牢靠,电位器滑动触点接触不良,甚至有的连线是断线等,这种故障一般是间隙性的,或突然停止工作。

(4) 人为故障

如操作者接线错误,元器件参数选错,二极管或电解电容器极性接反,示波器旋钮挡级选择不对,造成波形异常甚至无波形显示,以致元器件损坏等。

(5) 各种干扰引起的故障

所谓干扰是指来自设备或系统外部的破坏有用信号的无用信号。干扰源种类很多,常见的有:直流电源滤波不佳,纹波电压幅度过大;感应干扰,空间的各种电磁波通过分布电容或电感等各种途径窜扰到电路或电子仪表中;接地不当引起的干扰等。

2. 检查故障的基本方法

(1) 直接观察法

不使用任何仪器,只利用人的视觉、听觉、嗅觉以及直接碰摸元器件作为手段来寻找和分析故障。此法较简单,可作为对电路初步检查之用。

(2) 电阻测量法

在电路不带电的情况下,用万用表电阻挡测量电路的阻值、导线或元件的通断等。

(3) 电压测量法

在电路带电的情况下,用电压表测量电路中有关的各点电位,或两点之间的电压,再应用理论知识,分析和寻找故障。

(4) 信号跟踪法

把一个幅度与频率适当的信号送入被测电路的输入端,利用示波器,按信号的流向,逐级观察各点的信号波形,如哪一级异常,则故障就在该级。这种方法对电子电路尤为适用。

(5) 对比或部件替换法

将被怀疑有故障的电路与参数和工作状态相同的正常电路进行对比;或用与故障电路同类型的元器件、插件板等来替换故障电路中被怀疑部分,从中发现和判断故障。

以上列举的几种方法,在使用时可根据实际情况灵活掌握,对简单故障一般用一种方法即可查出故障点,但对于复杂故障,则需采用多种方法,互相配合,才能找到故障点。一般情况下,寻找故障的常规做法是:首先用直接观察法,排除明显的故障;然后用万用表或示波器检查静态参数,最后用信号跟踪法对电路作动态检查。

1.2.3 电子电路中的共地

由于电子电路周围存在杂散电磁场,它们通过电磁感应产生干扰,窜扰到电子电路及交流电子仪表线路中,影响正常工作。为防止这种干扰,一般采用电磁屏蔽和妥善接地的办法。电磁屏蔽就是把交流电子仪表和实验电路罩在金属外壳内,此外壳常通过电源插头的接地端与电网的地相连,当外界电磁干扰侵入时,将被金属外壳屏蔽入地,而不致窜入仪表和实验电路中,减少了对实验系统的干扰。

虽然交流信号可以不分正负,但交流电子仪器仪表的输入或输出的两个端子却有红(信号线)、黑(共地线)两色之分,说明它们不能互换使用,而且一般黑色端子与其外壳相连。在测量中要将各种电子仪器仪表的黑色端子连在一起,则其外壳将连在一起,即都处于某公共电位点,这个公共电位点虽不一定是电网接地点,但称为“共地端”,用“ $\perp$ ”符号表示。当电磁干扰袭来时,将被各仪表外壳短路到“共地端”,同样起到屏蔽作用。

1. “不共地”或“共地”不良造成的干扰

图 1.2.1 所示为用示波器测信号源的输出电压,由于“不共地”或“共地”不良而引入干扰的示意图。图中, C_1 、 C_2 分别为信号源和示波器机壳对大地(用 $\perp$ 符号表示)的分布电容,由于图中信号源和示波器的地线没有相连,因此实际到达示波器输入端的电压,除被测电压外,还有分布电容 C_1 、 C_2 所引入的干扰电压,图 1.2.2 所示是叠加了高频干扰的信号,也有叠加了 50 Hz 工频干扰的信号。

测量中如果将信号源的地线和示波器的地线相连,干扰就可以消除。

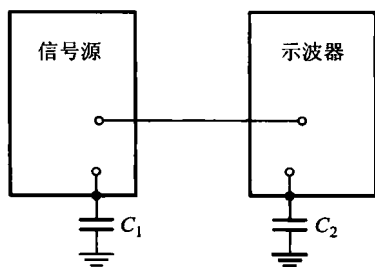


图 1.2.1 “不共地”或“共地”不良示意图

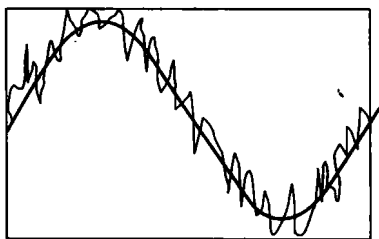


图 1.2.2 叠加了高频干扰的信号

2. 接地不当将信号源短路

许多电子仪器采用三端电源插头,其外壳和黑色端子已和电网地相连,如果实验中不注意,如图 1.2.3 所示,将示波器的黑色端子(地端)错连到实验板的非接地端,则造成信号源输出短路,以致烧毁信号源。

3. 接地不当将被测电路短接

在使用双踪示波器时,由于其两路输入端的地端(黑色端子)在内部已经连通,它们都是与机壳相连的。图 1.2.4 中示波器通道 CH1 观察被测电路的输入信号,其连线是正确的,而示波器另一通道 CH2 观察被测电路的输出信号,其连线是错误的,导致了被测电路输出端被短路。

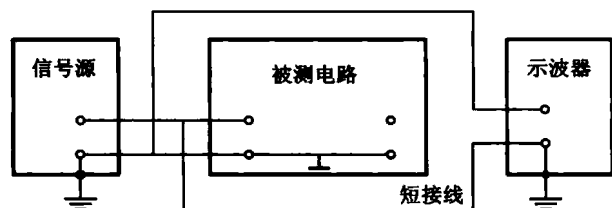


图 1.2.3 接地不当将信号源短路示意图

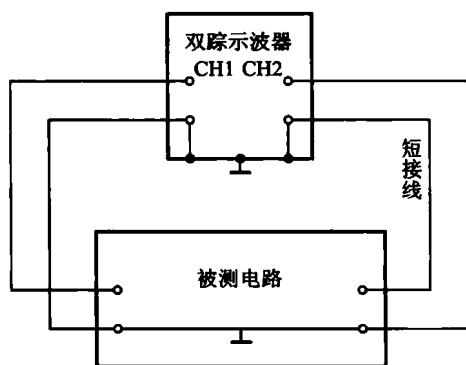


图 1.2.4 接地不当将被测电路输出端短路示意图

1.3 常用电子元器件的识别与简单测试

电子电路主要由电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件（如二极管、晶体管、集成电路等）组成，为了正确选择和使用这些元器件，必须了解它们的结构、性能指标、测试方法等知识。

1.3.1 电阻器、电容器、电感器的识别与简单测试

1. 电阻器和电位器

在电子电路中，电阻器占所用元件总数的 30% 以上，它的作用是调节电路的电压、电流，分压、分流和作为耗能的负载。按结构不同，电阻器分为固定式和可变式两大类。

固定式电阻器一般称为电阻，由于制作材料和工艺不同，可分为薄膜电阻、线绕电阻和特殊电阻（如光敏电阻、热敏电阻等）。薄膜电阻又分碳膜电阻和金属膜电阻，金属膜电阻精度较高，可达 0.001%。

电位器是一种具有三个端子的可变电阻器，其阻值在一定范围内连续可调。按材料可分为薄膜和线绕式两种；按调节机构的运动方式分旋转式和直滑式；按阻值随转角变化的关系可分为直线式（X 式）、对数式（Z 式）、指数式（D 式）。X 式常用于示波器、万用表等；Z 式常用于电视机的对比度调节，特点是先粗调后细调；D 式常用于收音机的音量调节，特点是先细调后粗调，字母符号 X、Z、D 一般印在电位器上，使用时应注意。

（1）电阻器的主要性能指标

电阻器和电位器的主要性能指标有：标称电阻值、允许误差、额定功率。

① 标称阻值：是指工厂生产的电阻器上标明的电阻值。常见的有以下三种表示方法：

第一种是将电阻值直接印在电阻上，如：510 Ω 、3.3 k Ω 等。

第二种是采用 $mn \times 10^p \Omega$ 的表示方法，一般为三位数字。前两位为有效数字，第三位是所乘 10 的幂数。如 102 表示 1 000 Ω 。

第三种是采用色环来表示阻值，一般有 4 个色环和 5 个色环两种。如果是 4 个色环则前两个色环表示有效数字，第三个色环表示所乘 10 的幂数，第四个色环表示容许误差的等级。如果

是 5 个色环则前三个色环表示有效数字,第四个色环表示所乘 10 的幂数,第五个色环表示容许误差的等级。色环表示的具体含义见表 1.3.1。

表 1.3.1 电阻的色标符号

颜 色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	底色
对应数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	/	/	/
对应 10 ⁿ 的方次	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	/	/	/
表示误差值	/	±1%	±2%	/	/	±0.5%	±0.25%	±0.1%			±5%	±10%	±20%

② 允许误差:是指电阻器和电位器的实际阻值,相对于标称阻值的最大允许偏差范围。固定电阻器的允许误差等级见表 1.3.2。电子线路一般采用 I 或 II 级电阻器已能满足要求。

表 1.3.2 允许误差等级

级 别	005	01	02	I	II	III
允许误差	±0.5 %	±1 %	±2 %	±5 %	±10 %	±20 %

线绕电位器的允许误差一般小于 10%,非线绕电位器的允许误差一般小于 20%。

③额定功率:在标准大气压和一定的环境温度下,电阻器长期连续承载而不改变其性能所允许的功率称为额定功率。

额定功率共分 19 个等级,最常用的一般在 0.125 ~ 2 W 之间,线绕电位器应用较多的有 2 W、3 W、5 W、10 W 等。

在电子电路中,一般所用电阻器的额定功率很小,因此常不在电路原理图中标出其额定功率,必要时,在其图形符号旁边用数字形式标出。需要注意的是电阻器的自身发热问题,为保证安全使用,应选其额定功率高于它在电路中实际消耗值的 1.5 ~ 2 倍以上,并注意其周围的散热条件及电阻发热对周围其他元器件的影响。

(2) 电阻器的简单测试

在测量精度要求不高的场合,可用万用表电阻挡测量。以模拟式万用表为例,首先要选择适当的量程,再将两个表笔短接调零,调零完毕后将表笔并接在被测电阻两端,从 Ω 刻度线上直接读出所示数值,再乘以所选择的量程,即可得被测电阻阻值。测量时要注意:不能用双手和被测电阻的两个端子及万用表的两个表笔并联捏在一起,以免引入误差;决不能带电测量电阻值;每换一次量程挡都必须重新调零。

当测量精度要求较高时,可用电桥法进行测量,这里不作详细介绍。

2. 电容器

电容器是储存电能的元件。在电路中可用于滤波、耦合、调谐、交流旁路和能量转换等。

(1) 电容器的分类

① 按结构可分为:固定电容器,其电容量不可调;半可变电容器(微调电容器),其电容量可在十几皮法至几十皮法(pF)的小范围内变化;可变电容器,其电容量在一定范围内连续变化,有

“单连”和“双连”之分。

② 按介质材料可分为:电解电容器、有机介质电容器、无机介质电容器和空气介质电容器。

a. 电解电容器,以铝、钽、铌等金属氧化物作介质的电容器,应用最广的是铝电解电容器。电解电容器容量大,耐压高(500 V 以下),它有正、负极性之分(一般外壳为负端,另一接线端为正端),使用时不能接反。

b. 有机介质电容器,其中包括纸介电容器和有机薄膜电容器。纸介电容器的结构简单、价廉,容量一般为 $100\text{ pF} \sim 10\text{ }\mu\text{F}$,但介质损耗大,稳定性不高;有机薄膜电容器较纸介电容器体积小,损耗小,稳定性好,但温度系数大。

c. 无机介质电容器,其中包括云母、高频瓷介和玻璃釉电容。云母电容一般为几十皮法至几万皮法,高频性能稳定,耐压高(几百伏至几千伏);高频瓷介电容体积小,损耗小,耐压低(一般 $60 \sim 70\text{ V}$),容量小(一般 $1 \sim 1\,000\text{ pF}$);玻璃釉电容,容量为 $4.7\text{ pF} \sim 4\text{ }\mu\text{F}$,可用到 125°C 高温。

d. 空气介质电容器。有些可变电容器采用空气作介质。

(2) 电容器的主要性能指标

① 标称电容量:标称电容量是生产厂在电容器上标明的电容量,常用单位是 F(法)、 μF (微法)、 pF (皮法),三者关系为 $1\text{ pF} = 10^{-6}\text{ }\mu\text{F} = 10^{-12}\text{ F}$ 。

一般电容器上直接标出其电容量,也有的用数字来标志容量,例如电容上只标出“472”三位数值,其中左起两位数字给出电容量的第一、第二位数字,第三位数字则表示附加零的个数,而且以 pF 为单位,因此“472”即表示该电容器的电容量为 $4\,700\text{ pF}$ 。

② 额定工作电压:电容器的额定工作电压是指在规定的温度范围内,电容器能长期、可靠工作时所能承受的最高电压。常用固定式电容器的直流工作电压系列为:6.3、10、16、25、32*、40、50*、63、100、160、250、400 等(单位为 V),其中有 * 号的只限于电解电容器。

③ 允许误差:允许误差是实际电容量相对于标称电容量的最大允许偏差范围。固定电容器的允许误差等级见表 1.3.3。

表 1.3.3 允许误差等级

级 别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+20\% \sim -30\%$	$+50\% \sim -20\%$	$+100\% \sim -10\%$

(3) 电容器的简单测试

通常可以用普通模拟式万用表大致地判断电容器质量的优劣情况。例如测试电解电容器的具体方法是选用 $R \times 1\text{ k}$ 或 $R \times 100$ 挡,黑表笔接电容器正极,红表笔接电容器负极,若表针摆动大,且慢慢返回到接近 ∞ ,说明该电容器正常,且电容量较大;若表针摆动大,且慢慢返回时不到 ∞ 处,说明电容器漏电流大,且其表针示值即为被测电容的漏电阻值,铝电解电容器的漏电阻应超过 $200\text{ k}\Omega$ 才可使用;若表针摆动很大,接近 $0\text{ }\Omega$,且不返回,说明电容已击穿,不能使用;若表针不摆动,说明该电容已断路失效。

上述方法也适用于其他类型电容器,当电容量较小时,选用万用表的 $R \times 10\text{ k}$ 挡测量。如果需对电容作再一次测量,必须将其放电后才能进行。

当测量精度要求较高时,可以用交流电桥和谐振法等测量,这里不作介绍。

3. 电感器

电感器主要是储存磁场能量的元件。大电感器没有系列产品,实际工作中常根据需要自行设计制作。小电感(额定电流小,电感量小)能买到用色环标志的系列电感。

(1) 电感器分类

按结构可分为带磁心、铁心和空心的电感器等;按电感量是否可调,可分为固定、可变、微调电感器;按使用的频率范围可分为高频电感器和低频扼流圈。

(2) 电感器的主要性能指标

电感器一般用金属导线绕制而成,所以有导线电阻(磁心电感还包括磁性材料的损耗电阻)和线圈匝间的分布电容,当工作频率较低时,分布电容可忽略不计,所以其参数除电感量外,还应包括损耗,通常用品质因数 Q 表示。

① 电感量 L : 电感量大小与线圈匝数,绕制方式及磁导率等因素有关。匝数越多,电感量越大;有磁心的线圈比无磁心的电感量大。电感的常用单位为 H (亨利)、 mH (毫亨)、 μH (微亨)。

② 品质因数 Q : $Q = \omega L / R$, ω 为工作角频率, L 为线圈电感量, R 为线圈电阻。 Q 值越大,说明电感的功率损耗小,效率高,品质好。一般要求线圈的 $Q = 50 \sim 300$ 。

③ 标称电流: 线圈的标称电流是指线圈允许通过电流的大小,使用时不应超过此值。体积较大的电感器,其电感量及标称电流均在其外壳标出。

(3) 电感器的简单测试

可以用万用表的电阻挡测试电感器的通断及其直流电阻值,大致地判断其好坏,一般电感线圈的直流电阻值应很小(零点几欧至几欧)。电感量可以用交流电桥和谐振法等测量,也可以根据交流电路中的感抗 $X_L = 2\pi fL = U/I$ 计算求得,式中, U 为电感两端的电压, I 为流过电感线圈的电流。用通用仪器测量出 U 、 I 后便可间接求得 L 。

1.3.2 半导体二极管、晶体管的识别与简单测试

在电子电路中,虽然目前集成电路应用日益广泛,分立元件应用日趋减少,但作为分立元件电路核心器件的半导体二极管、晶体管,仍是现代电子技术的基础,在许多方面仍被采用。

1. 半导体二极管

(1) 普通二极管

半导体二极管简称二极管,是由一个 PN 结外加引线及封装构成的。二极管具有单向导电性,可用于整流、检波等,它的正向电流随着正向电压的增大而增大,硅二极管的死区电压约为 $0.5 \sim 0.7 V$,锗二极管的死区电压约为 $0.1 \sim 0.3 V$ 。

普通二极管一般有玻璃封装和塑料封装两种,如图 1.3.1 所示,它们外壳上均印有型号和标记,标记的箭头所指示的方向为阴极;有的二极管只有一个色点,色点端为阳极。如果型号标记不清楚,可用万用表电阻挡判别。

根据 PN 结正向导通电阻值小,反向截止电阻值大的原理可确定二极管的好坏与极性。当用模拟式万用表测二极管时,要注意万用表面板上标有“+”号的红表笔接表内电池的负极,而面板上标有“-”号的黑表笔,接表内电池的正极。测量小功率二极管时,万用表电阻挡置 $R \times 100$ 或 $R \times 1 k$ 挡;测量大功率整流二极管时可用 $R \times 1$ 或 $R \times 10$ 挡。