



普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

电路基础实验教程

马 艳 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书的各章内容与《电路》、《电路分析基础》等课程的教学内容相对应。

本书主要内容包括电路实验综述、常用电子元器件、电气测量仪器仪表及测量方法,还介绍了 Multisim 10 在电路设计中的应用及简单电路的设计方法。实验内容包括电路基本定律的实验研究、基本电气测量技术、动态电路实验、单相和三相交流电路的实验、二端口网络及负阻抗变换器实验等,共给出了各层次实验项目 23 个。

本书的编写力图突破传统的实验教学体系,实验内容分为基础实验、综合设计实验、提高创新实验三个层次,促进学生的开放自主性学习。本书可作为高等学校电气信息类专业的电路实验课程教材使用,也可作为广大电子行业工作者和电子爱好者的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础实验教程 / 马艳主编. —北京:电子工业出版社,2012.9
电子电气基础课程规划教材
ISBN 978-7-121-17391-2

I. ①电… II. ①马… III. ①电路-实验-高等学校-教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 129951 号

责任编辑:冉 哲

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:12.75 字数:321.6 千字

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书的主要内容与《电路》、《电路分析基础》等课程的教学内容相对应,可作为高等学校电气信息类专业的电路实验课程教材使用。

本书的编写本着“坚实基础、注重综合、强化设计、旨在创新”的理念,全面介绍了电路基础实验的基本知识:电路实验综述、常用电子元器件、电气测量仪器仪表及测量方法,还介绍了Multisim 10在电路设计中的应用和简单电路的设计方法。实验内容涵盖了电路基本定律的实验研究、基本电气测量技术、一阶和二阶动态电路实验、单相和三相交流电路的实验、二端口网络及负阻抗变换器实验等,共给出了各层次实验项目23个。

本书根据《高等学校实验教学示范中心的建设标准》编写,突破传统的实验教学体系,实验内容分为基础实验、综合设计实验、提高创新实验三个层次,促进学生开放自主性学习。通过常规基础实验的训练,使学生掌握基本实验理论、基本实验方法、基本实验技能,培养基本素质。综合设计创新研究实验内容,既有课程不同知识点的综合,又有实验技能、测试方法的综合,提高学生对电路基础理论的综合应用能力。

本书在编写中依据教学体系建设需要,实验内容由浅入深地安排;每个实验项目中的实验任务分为基本实验和扩展实验两部分,方便不同层次学生使用;实验原理对基本和扩展实验任务涉及的理论及方法进行了介绍;实验预习要求尽量具体化,在书中留出了解答的位置,方便学生使用;常规基础实验在实验指导中给出了参考电路和实验方法步骤,综合设计实验则只提出设计要求,让学生自行设计实验电路和方案,独立完成实验任务。

本书的编写是在青岛大学电工电子实验教学中心的大力支持下进行的。其中第1~3章由徐淑华执笔,第4章由马艳、徐淑华执笔,第5章由马艳、王贞、王雪瑜、臧宏文、马慧敏共同编写,全书由马艳统稿。臧宏文、马慧敏试做了全部实验内容。

在编写过程中,编者学习和借鉴了大量有关的参考资料,在此向所有作者深表感谢。

由于水平所限,错误和不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者
于青岛大学

目 录

第 1 章 电路实验综述	1	第 3 章 电气测量	27
1.1 实验课的目的	1	3.1 电气测量仪器仪表	27
1.2 实验准备	2	3.1.1 常用电气测量仪表	27
1.3 实验操作	3	3.1.2 万用表	28
1.3.1 操作流程	3	3.1.3 直流稳压电源	30
1.3.2 故障分析与排除	5	3.1.4 函数信号发生器	32
1.3.3 设计性实验的电路调试	6	3.1.5 交流毫伏表	34
1.4 实验总结	6	3.1.6 示波器	35
思考与练习题	7	思考与练习题	38
第 2 章 常用电子元器件	8	3.2 电气测量方法	39
2.1 电阻器与电位器	8	3.2.1 电压的测量	39
2.1.1 电阻器与电位器的类型及 符号	8	3.2.2 电流的测量	40
2.1.2 电阻器与电位器的命名方法	9	3.2.3 功率的测量	40
2.1.3 电阻器与电位器的技术 指标	10	3.2.4 时间、频率和相位的测量	42
2.1.4 电阻器与电位器的选择及 使用	12	3.2.5 直流电阻的测量	43
思考与练习题	13	思考与练习题	44
2.2 电容器	13	3.3 测量误差的分析与测量数据 的处理	45
2.2.1 电容器的类型及符号	13	3.3.1 测量误差的分析	45
2.2.2 电容器的参数	14	3.3.2 测量数据的记录与处理	46
2.2.3 电容器的选择及使用	15	思考与练习题	49
思考与练习题	16	第 4 章 电路设计与仿真	50
2.3 电感器	16	4.1 Multisim 10 在电路设计中的 应用	50
2.3.1 电感器的分类	16	4.1.1 Multisim 10 界面介绍	50
2.3.2 电感器的参数	16	4.1.2 建立电路	56
2.3.3 电感器的选择及使用	17	4.1.3 电路仿真分析	58
思考与练习题	17	思考与练习题	63
2.4 半导体分立器件	17	4.2 电路设计方法	63
2.4.1 晶体二极管	18	4.2.1 设计型实验的方法与步骤	63
2.4.2 晶体三极管	20	4.2.2 设计型实验示例	67
思考与练习题	22	第 5 章 实验任务书	71
2.5 半导体集成电路	22	5.1 元件伏安特性的测定	71
2.5.1 集成电路的分类	23	5.2 基尔霍夫定律与电位的 测定	76
2.5.2 集成电路的型号命名	24	5.3 电阻星形连接与三角形连接 的等效变换	80
2.5.3 集成电路的应用	25		

5.4	电压源与电流源的等效 变换.....	84	5.14	RLC 正弦交流电路的频率 特性	136
5.5	叠加原理与等效电源定理的 研究.....	88	5.15	基于 Multisim 软件的电路 仿真	141
5.6	特勒根定理与互易定理的 验证.....	94	5.16	感性电路的测量及功率因数 的提高	153
5.7	集成运算放大器的基本 应用.....	99	5.17	互感电路实验	157
5.8	受控源特性的研究	103	5.18	变压器的应用	162
5.9	典型电信号的观察与测量.....	109	5.19	三相正弦交流电路的研究 ..	167
5.10	RC 一阶电路暂态过程的 分析与研究	116	5.20	周期信号有效值和平均值 的测量	173
5.11	二阶动态电路响应的研究 ..	123	5.21	二端口网络参数的测量	178
5.12	交流电路中相位差的测量 ..	127	5.22	负阻抗变换器电路的研究 ..	185
5.13	交流电路中元件的等效参数 的测量	132	5.23	回转器电路的研究	191
			参考文献		197

第 1 章 电路实验综述

实验是人们根据一定目的要求,运用一定手段,突破客观条件限制,在人为控制、干预或模拟条件下,观察、探索客观事物本质和规律的一种科技创造方法。实验是获得第一手资料的重要方法,是探索自然奥秘和事物客观规律的必由之路,是检验真理的唯一标准,是推动科学发展的有力手段。

实验室是现代化大学的心脏。实验教学是把科学实验引进教学领域的教学过程。实验教学是理论知识和实践活动、间接经验和直接经验、抽象思维和形象思维相结合,科学思想、方法、技术相结合的教学过程。实验教学具有直观性、实践性、物质性、技术性、综合性和科学性,能够起到传授知识、培养能力、提高素质的全面作用。

在高等学校理工科各专业学生的培养过程中,按照一定的教育计划和目标,在教师指导下,组织学生运用一定的条件,观察和研究客观事物的本质和规律,以传授知识、培养能力、提高素质为目的,让学生亲自运用实验手段动手动脑独立完成实验,综合运用所学知识和技能,自主实验操作,进行系统分析、比较、归纳等思维活动,是全面推进素质教育、培养创新人才的重要组成部分。

1.1 实验课的目的

“电路基础”是高等学校理工科各专业的一门实践性很强的专业基础课。电路基础实验是将电路基础理论用于实际的实践性活动,通过该课程的学习,使学生得到电路基本实践技能的训练,学会运用所学理论知识判断和解决实际问题,加深和扩大理论知识;加强工程实际观念和严谨细致的科学作风,为本学科的专业实验、生产实践和科学研究打下基础。

电路基础实验作为重要教学环节,对培养学生理论联系实际学风,培养学生研究问题和解决问题的能力,培养学生的创新能力和协作精神,提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力具有重要的作用。

电路基础实验内容设置分为基础验证、综合设计、创新研究三个层次。

基础验证实验:主要选择一些经典内容,以元器件特性、参数和基本单元为实验电路,验证电路基础的有关原理,巩固所学的理论知识,培养学生的基本工程素质、基本实验技能、基本分析和处理问题的能力。

综合设计实验:主要结合实际应用,给定实验的部分条件,或实验电路,或方法要求,由学生自行拟订实验方案,正确选择仪器,完成电路连接和性能测试任务,估算工程误差,并能够解决实验中出现的(包括排除故障),培养学生对所学知识的综合应用能力,提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力,增强学生的工程设计与综合应用素质。

创新研究型实验:根据给定的实验课题或自主选择课题,由学生独立设计实验电路、实验内容和性能指标,选择合适的元器件,完成电路的组装和调试,以达到设计要求,培养学生自主学习、系统分析、应用、综合、设计与创新的能力,培养学生的创新精神,培养学生知识更新、独立分析处理问题的能力以及创新的思维。

通过电路基础实验课程的学习和实践,使学生学会识别电路图、合理布局和接线、正确测试、准确读取和记录数据,能排除实验电路的简单故障和解决实验电路中常见的问题;学会正确选择和使用常用的电工仪表、电子仪器、实验设备和工具,掌握典型应用电路的组装、测量和调试方法,能够正确处理实验数据、绘制曲线图表和误差分析,具有一定的工程估算能力;学会查阅相关技术手册和网上查询资料,合理选用实验元器件(参数);学会使用 EDA 仿真软件,对实验电路进行仿真分析和辅助设计;掌握常用单元电路或小系统的设计、组装和调试方法,具备一定的综合应用能力;具有独立撰写实验报告的文字表达能力;学会从实验现象、实验结果中归纳、分析和创新实验方法;提高科学素养,包括养成严谨的工作作风,严肃认真、实事求是的科学态度,勤奋钻研、勇于创新的开拓精神,遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品德。

一个完整的实验过程应包括实验准备、实验操作和实验总结等环节。不论是验证性实验还是设计性实验,各环节的完成质量都会直接影响实验的效果。

1.2 实验准备

实验准备即为实验预习。实验预习是关系实验能否顺利进行和收到预期效果的重要前提,是保证实验能否顺利进行的必要步骤,是提高实验质量和效率的可靠保证。

1. 基础验证实验的实验预习

对于基础验证实验,实验预习应按以下步骤进行:

① 仔细阅读实验指导书,了解本次实验的目的和任务,熟悉与本次实验相关的理论知识,掌握本次实验的原理。

② 根据给出的实验电路与元器件参数,进行必要的理论计算。实验中所用的实际元器件不同于理想元器件,同一种性质(类型)的元器件会因型号和用途的不同,在外观形状上存在一定差异,在标称值和精度等内部特性方面也有很大差别。电路基础实验所涉及的元器件主要包括电阻器、电感器、电容器、二极管、各种集成电路芯片、各种开关、熔断器、继电器、接触器、变压器、传感器等。

③ 仔细阅读本次实验所用仪器仪表的使用说明,熟记操作要点。

仪器仪表主要包括电压表、电流表、功率表、电度表、直流电源、函数信号发生器、示波器、计算机等。在实验前必须了解和熟悉它们的功能、基本原理和操作方法,并正确选用。通过 CAI 课件等途径了解本次实验所用元器件的特性、测试方法及应用注意事项。

④ 设计或掌握操作步骤和测量方法。操作步骤是实验的操作流程,它是培养学生良好操作习惯的重要环节。因此,为完成实验任务所设计的操作步骤必须细致,充分考虑各种因素的影响,包括每步操作的注意事项、仪器设备和人身的安全措施、测量数据的先后顺序等。

⑤ 确定观察内容、测试和记录数据。预习时应拟好所有记录数据和有关测试内容的表格或图框。凡要求首先进行理论计算的内容必须在预习中完成,并尽量把理论数据填写在记录实验数据的表格中,便于与记录的实验数据进行对比分析。

2. 设计型实验的实验预习

对于设计型实验,除了进行以上基本步骤外,还应在实验预习中完成以下步骤。

① 深入理解实验题目所提出的任务与要求,阅读有关的技术资料,学习相关的理论知识。

② 进行电路方案设计,选择电路元器件参数。

③ 使用仿真软件进行电路性能仿真和优化设计,进一步确定所设计的电路原理图和元器件参数。仿真分析是运用计算机软件对电路特性进行分析和调试的虚拟实验手段。在虚拟环境中,不需要真实电路的介入,不必顾及设备短缺和时间环境的限制。因此,在进行实际电路搭建和性能测试之前,可以借助仿真软件对所设计的电路反复更改、调整和测试,以获得最佳的电路指标和拟订最合理的实测方案。同时,对实验结果做到心中有数,以便在使用实物的实验中做到有的放矢,少走弯路,提高效率,节省资源。常用的仿真软件有 Multisim 等,应当把仿真软件作为实验的基本工具,加以掌握和应用。

④ 拟订实验步骤和测量方法,画出必要的记录表格备用。选择合适的测量仪器。

3. 预习报告

在实验进行前,必须按照要求写出预习报告。在预习报告中要完成所有与本次实验相关内容的问题解答。

要特别注意,在预习阶段还要根据自身实际情况及实验需要,尽可能通过网络、图书馆等信息资源,更多地了解相关知识,拓宽预习范围。例如,各实验所需器件的基本原理和选用知识、仪器仪表的使用方法、特殊元器件的应用、实验注意事项、安全操作规范等。这些对于积累实验经验和培养实践能力将有很大帮助。

1.3 实验操作

在完成理论学习,实验预习环节后,就可进入实验操作阶段。实验操作就是在预习报告的指导下,按照操作步骤进行有条不紊的实际操作的过程,包括熟悉、检验和使用元器件与仪器设备,连接实验线路,实际测试与数据记录,以及实验后的整理等工作程序。

1.3.1 操作流程

1. 熟悉设备,检查元器件

实验开始前,指导教师要对学生的预习报告进行检查,看学生是否了解本次实验的目的、内容和方法。只有检查通过后,才能允许进行实验操作。操作前要注意两点:第一,要认真听取指导教师对实验装置的介绍,或通过 CAI 课件了解本次实验所用实验设备、仪器的功能与使用方法;第二,要对所用元器件与导线等进行简要的测试。为了保证在实验中使用的元器件和导线是完好的,在使用之前一定要用万用表进行简单测试,如检查导线有没有断开、二极管是否完好等。

2. 连接实验线路

即按确定的实验线路图接线。连接实验线路是实验过程中的关键性工作,也是评判学生是否掌握基本操作技能的主要依据。通常,连接实验线路需要注意以下几点。

① 合理摆放实验对象。电源、负载、测量仪器等实验对象的摆放,一般原则是,使实验电路的布局合理(即对象摆放的位置、距离、连线长短等对实验结果影响小),使用安全方便(即实验对象的接线、调整、测读数据均方便,摆放稳固,操作安全),连线简单可靠(即用线短且用量少,尽量避免交叉干扰,防止接错线和接触不良)。

② 连接的顺序要根据电路的结构特点及个人熟练程度而定。对初学者来说,一般是按电路图上的接点与各实物元器件接头的一一对应关系来顺序接线的。对于复杂的实验电路,通

常是先连接串联支路,后连接并联支路;先连接主回路,后连接其他回路;先连接各个局部,后连接成一个整体。实验电路走线、布线应简洁明了、便于测量,导线的长短粗细要合适,并且尽量短、少交叉,防止连线短路。所有仪器设备和仪表,都要严格按照规定的接法正确接入电路(例如,电流表及功率表的电流线圈一定要串接在电路中,电压表及功率表的电压线圈一定要并接在电路中)。

③ 巧用颜色导线。为便于查错,接线可用不同颜色的导线来区分。例如,电源“+”极或(交流)“相”端用红色导线、电源的“-”极或“中性”端用蓝色导线,“地”端用黑色导线。有接线的地方要拧紧或夹牢,以防止接触不良或脱落。

④ 注意地端连接。电路的公共地端和各种仪器设备的接地端应接在一起,既可作为电路的参考零点,又可避免引起干扰。在一些特殊的场合,仪器设备的外壳应接地保护或接零保护,以确保人身和设备安全。在焊接和测试 MOS 器件时,电烙铁和测试仪器均要接地,以防它们漏电而损坏 MOS 器件。在测量时,要特别注意防止因仪器和设备之间的“共地”而导致被测电路局部短路。

⑤ 注意屏蔽。对于中频和高频信号的传输,应采用屏蔽线。同时,将靠近实验电路的屏蔽线(外导体)进行单端接地,以提高抗干扰能力。

3. 实验电路通电

完成实验线路连接之后,不能立刻通电实验,必须进行复查。要对照实验电路图,由左至右或由电路有明显标记处开始一一检查,不能漏掉一根哪怕是非常短小的连线。按照“图物对照,以图校物”的基本方法加以检查。对初学者,检查电路连线是很有意义的一项工作,它既能加深对电路连接的认识,又是建立电路原理图与实物安装图之间内在联系的训练机会。其主要内容是检查线路是否接错(或短路),是否多连或少连导线,电源的正负极、地线和信号线连接是否正确,连接的导线是否导通等。检查连线是保证实验顺利进行、防止事故发生的重要措施。特别是针对强电(36V 以上)的实验电路,接完线路后一定要按照自查、同学互查、教师复查的程序,最后由教师确认无误后方可通电。尤其做强电实验时要注意:手合电源,眼观全局,一有异常现象(例如有声响、冒烟、打火、焦臭味或设备发烫等)应立即切断电源,分析原因,查找故障。

4. 测量数据,观察现象

接通电源后,先将设备大致调试一遍,观察各被测量的变化情况和出现的现象是否合理。若不合理,应切断电源,查找原因,进行改正。如果数据出现时有时无的变化,可能是实验电路的接线松动、虚焊、连接导线出现隐藏断点或仪器仪表工作不稳定等问题。如果预测数据与理论数据相差很大,可能是实验电路接线错误、(局部)碰线或元器件参数选择不当等问题。只有消除隐患,才能确保实验电路正常工作。

仪表读数时,思想要集中,姿势要正确。对于数字式仪表,要注意量程、单位和小数点位置;对于指针式仪表,要求眼、针、影成一线,及时变换量程使指针指示于误差最小的范围内。注意,变换量程要在切断电源情况下操作。

5. 数据记录与分析

将所有数据记录在原始记录表中,数据记录要完整、清晰,力求表格化,一目了然,合理取舍有效数字,并注明被测量的名称和单位。重复测试的数据应记录在原数据旁或新数据表中,要尊重原始记录,实验后不得涂改,养成良好的记录习惯,培养工程意识。交实验报告时,将原

始记录表一起附上。

在测量过程中,应及时对数据进行初步分析,以便及早发现问题,及时采取必要措施以达到实验的预期效果。例如,对被测量变化快速的区域,应增加测试点以获取更多的变化细节;对变化缓慢的区域,可以减少测试点,以加快测试速度,提高效率。对于关键点的数据,不能丢失,必要时多次测量,取用它们的平均值以减小误差。

6. 完成实验

完成本次实验全部内容后,应先断电,暂不拆线,待认真检查实验结果无遗漏和错误后,方可拆除接线。整理好连接线和仪器工具,使之物归原位。

在实验过程中,应特别注意人身安全与设备安全。改接线路和拆线一定要在断电的情况下进行,绝对不允许带电操作。使用仪器仪表要符合操作规程,切勿乱调旋钮、挡位。如果发现异常情况,应立即切断电源,查找故障原因,排除后再继续进行。

1.3.2 故障分析与排除

在正常的情况下,连接好实验电路即可进行测试或调试。但也常常会出现一些意想不到的故障,导致数据测试不正确甚至实验不能正常进行。遇到故障不一定是坏事,在实验中通过排除故障的锻炼,将有助于实验技能的不断提高。一旦遇到故障,切忌轻易拆掉线路重新安装,而是要运用所学知识,认真观察故障现象,仔细分析故障原因,查找到故障部位,排除故障,使实验得以继续进行。故障的检查通常采用以下几种方法。

1. 断电检查法

当实验接错线,造成电源或负载短路或严重过载,特别是发现实验电路或设备的异常现象(如有声响、冒烟火、焦臭味及发烫等)将导致故障进一步恶化时,应立即关断电源进行检查。首先,对照原理图,对实验电路的每个元器件及连线逐一进行外部(直观)检查,观察元器件的外观有无断裂、变形、焦痕和损坏等状况,引脚有无错接、漏接或短接;观察仪器仪表的摆放、量程选择、读数方式是否正确。然后,使用数字万用表的“ Ω ”挡,检查各支路是否连通,元器件是否良好,对于电容、电感(包括电动机和变压器)元件,可用电桥测量;对于集成电路,需要用专门仪器测试或用好芯片替换它来进行判断。

2. 通电检查法

这是一种使用测试仪器检测电路参数来判断故障部位的在线检查方法。一般先直观检查,再进行参数测试。

① 直观检查法。在通电电路情况下对工作状况进行直接观察检查,包括听各种声音、看显示数值、查运行状态、摸外表温度、嗅现场气味等外部现象,来确认电路是否正常。有时还要配合不同操作动作,使呈现的现象更明显。

② 参数测试法。最常见的是利用万用表进行电压测量,主要检查电源供电系统从电源进线、电源引入开关、熔断器到电路输入端有无电压,电子类仪器仪表有无供电,输入和输出信号是否正常,各元器件和仪器的电压是否符合给定值等。对于动态参数,借助示波器观察波形及可能存在的干扰信号,有利于故障分析。

③ 替换法。当故障比较隐蔽时,在对电路进行原理分析的基础上,对怀疑有问题的部分可用正常的模块或元器件来替换。如果故障现象消失了,电路能够正常工作,则说明故障出现在被替换下来的部分,以缩小故障范围,便于进一步查找故障原因和部位。

④ 断路法。在实验电路中断开某一部分电路,可以起到缩小故障范围的作用。例如,直流稳压电源接入一个带有局部短路故障的电路中,其输出电流明显过大,若断开该电路中的某条支路后恢复了正常,则说明故障就是这条支路,进一步查找即可发现故障部位。

值得一提的是,目前有不少仿真软件都能够用于设置各种故障源,为工程人员借助软件仿真来重现故障现象,了解故障产生的原因及后果,直观地认识工程现场,提供了安全、无损和便捷的工具。因此,很好地掌握和利用仿真工具,可以达到事半功倍的效果。

1.3.3 设计性实验的电路调试

一个设计性实验在电路设计、仿真优化、器件选择、电路连接之后,通常要对电路进行调试。调试的方法是,先对单元电路进行局部调试,以满足个体技术指标,然后对各单元构成的总体电路进行调试,最终达到总体指标。电路的调试,通常包括静态调试、动态调试和指标测试。

静态调试是指在没有加入信号的条件下的调试,使电路各输入和输出的参数都符合设计要求,所以也称为直流调试。

动态调试是指在静态正常条件的基础上加入信号的调试,使电路各输入和输出的交流参数都符合设计要求。对于模拟电路,主要借助仪器观测参数,包括信号波形、幅值、相位、频率等;对于数字电路,可借助电压(平)表、发光管、数码管和蜂鸣器来判断逻辑功能。

无论是静态调试还是动态调试,如果不符合要求,均应调整甚至更换相应的元器件,直至达到要求。然后进行技术指标测试,它是借助仪器仪表所进行的测试。如果发现测试结果与设计要求存在较大差异,就需要找出原因,及时调整甚至修正设计方案,以得到满意的实验电路以及可靠的数据。

1.4 实验总结

实验的最后阶段是实验总结,即对实验数据进行整理,绘制波形和图表,分析实验现象,撰写实验报告。实验参与者每次都要独立完成一份实验报告。实验报告的编写应持严肃认真、实事求是的科学态度,如果实验结果与理论有较大出入,不得随意修改实验数据和结果,不得用凑数据的方法来向理论靠拢,而是要用理论知识来分析实验数据和结果,解释实验现象,找出引起较大误差的原因。

实验报告的一般格式如下:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验任务及目的。
- (3) 实验原理及电路:完成调试后得到的实验电路图,包括标注元器件参数、测试点和对照原理(或原先设计)电路的改动情况。
- (4) 实验仪器及器件:仪器设备和元器件清单,包括仪器设备以及元器件的名称、型号规格和数量等,并对这些设备在实验过程中的使用状况,也要作出说明,便于统计和维修。
- (5) 仿真结果:包括选用的仿真工具和仿真结果(数据、表格和波形等)。
- (6) 实验数据:测试所得到的原始数据和波形等。注意标注数据的单位。
- (7) 测量数据的分析与处理:实验总结的主要工作是对实验原始记录的数据进行处理。此时要充分发挥曲线和图表的作用,其中的公式、图表、曲线应有符号、编号、标题、名称等说

明,以保证叙述条理的清晰。为了保证整理后数据的可信度,应有理论计算值、仿真数据和实验数据的比较、误差分析等。对实验数据的处理,要合理取舍有效数字。报告中的所有图表、曲线均按工程化要求绘制。对与预习结果相差较大的原始数据要分析原因,必要时应对实验电路和测试方法提出改进方案以及重新进行实验。

(8) 存在问题的分析与处理:对于实验过程中发现的问题(包括错误操作、出现故障),要说明现象、查找原因的过程和解决问题的措施,并总结在处理问题过程中的经验与教训。

(9) 回答思考题

按要求有针对性地回答思考题,它是对实验过程的补充和总结,有助于对实验内容的深入理解。

(10) 实验的收获和体会:在实验能力和综合素质上有哪些收益,掌握了哪些基本操作技能,对该实验有哪些改进建议以及体会。

总之,一个高质量的实验来自于充分的预习、认真的操作、可靠的数据和全面的实验总结。每个环节都必须认真对待,真实可信,才能达到预期的实验效果。

【思考与练习题】

- 1-1 电路基础实验在总体上要达到哪些目的和要求?
- 1-2 一个完整的实验过程包含几部分?
- 1-3 写出基础验证实验的预习内容及步骤,写出设计性实验的预习内容及步骤。
- 1-4 实验操作应分几步进行?每步要注意什么问题?
- 1-5 对于实验中遇到的故障现象,应如何检查和处理?
- 1-6 一份实验报告应包含哪些内容?

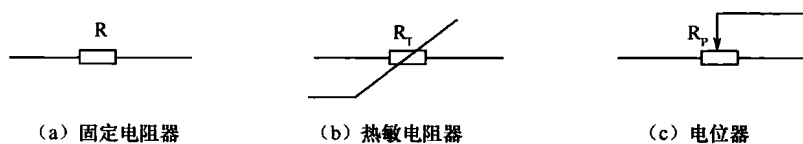
第 2 章 常用电子元件

2.1 电阻器与电位器

电阻器(简称电阻)是电子电路中最常用的电子元件,它在电路中起分压、分流、限流、阻抗匹配等作用。根据其阻值在电路中的特性,可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器。按组成材料,可分为碳膜电阻器(RT)、金属膜电阻器(RJ)、线绕电阻器(RX)和敏感电阻器。

2.1.1 电阻器与电位器的类型及符号

国家标准规定电阻器图形及符号如图 2.1.1 所示。固定电阻器用字母 R(Resistor)表示,电位器用 R_p 或 R_w 表示,敏感电阻器则根据其敏感性能在 R 下方加英文字母来表示,如热敏电阻器用 R_T 来表示。



2.1.1 电阻器的符号

1. 固定电阻器

固定电阻器的种类很多,按组成材料可分为线绕电阻器和非线绕电阻器。常用的主要有线绕电阻器、碳膜电阻器和金属膜电阻器。

① 线绕电阻器(RX 型)。线绕电阻器是用金属丝绕制在陶瓷或其他绝缘材料制成的骨架上,表面涂以保护漆或玻璃釉膜制作而成的。其优点是:阻值准确($5\Omega\sim 56k\Omega$),功率范围大,噪声小,耐热性好,工作稳定可靠。其缺点是:成本高,体积大,高频性能差。因此,线绕电阻器主要应用于精密和大功率场合,不适用于高频电路。

② 碳膜电阻器(RT 型)。碳膜电阻器是以小磁棒或磁管作为骨架,在真空和高温下,沉积一层碳膜作为导电膜,磁管两端加上金属帽盖和引线,并外涂保护漆制作而成的。其外形如图 2.1.2 所示。碳膜电阻器的特点是:稳定性好(指电压、温度的变化对阻值的影响小),噪声小,阻值范围宽($10\Omega\sim 10M\Omega$),价格低。适用于高频电路。

③ 金属膜电阻器(RJ 型)。金属膜电阻器的结构与碳膜电阻器相似,只是导电膜为由合金粉蒸发而成的金属膜。其外形如图 2.1.3 所示。它各方面的性能优于碳膜电阻器,且体积远小于同功率的碳膜电阻器,是应用最广泛的一种电阻器。

2. 电位器(可变电阻器)

电位器依靠一个电刷在电阻体上移动而获得变化的电阻值,在一定范围内连续可调。按电阻体材料可分为薄膜电位器和线绕电位器两种。

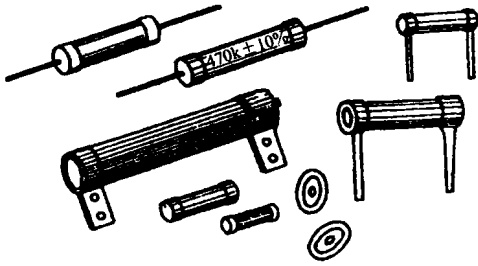


图 2.1.2 碳膜电阻器的外形

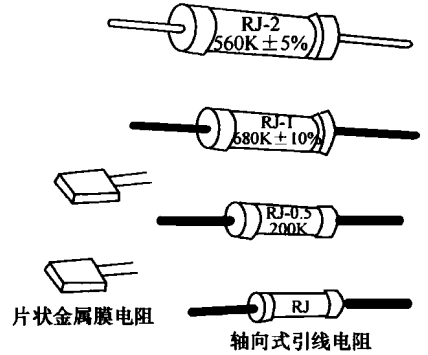


图 2.1.3 金属膜电阻器的外形

常用的薄膜电位器有：小型碳膜电位器(WTX 型)、合成碳膜电位器(WTH 型)、有机实心电位器(WS)等类型。薄膜电位器体积小,阻值范围宽,误差小(不大于 2%)。其阻值、误差和型号均标在电位器上。

线绕电位器的代号为 WX 型,电阻体由金属线绕制而成,能承受较高的温度。线绕电位器的额定功率范围大(一般为 0.25~50W),阻值范围为 10~100Ω,误差不大于 10%。线绕电位器按用途可分为普通线绕电位器、精密线绕电位器、功率线绕电位器和微调线绕电位器。按照阻值变化规律可分为线性和非线性两种。

电位器按其结构还可分为单圈、多圈、单联、双联和多联电位器,也可根据有无开关分为带开关型和不带开关型。几种常用电位器的外形如图 2.1.4 所示。

电位器的基本结构及符号如图 2.1.5 所示,它有三个引出端,其中 B 是滑动端,旁边 A、C 是固定端。

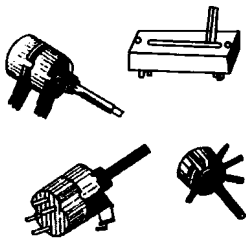


图 2.1.4 几种常用电位器的外形

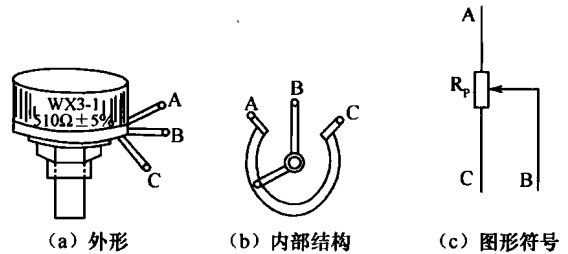


图 2.1.5 电位器外形结构及图形符号

电位器根据其用途可分为精密电位器、普通电位器、功率电位器、微调电位器、高频电位器、高压电位器、耐热电位器、快速电位器等。

3. 敏感电阻器

敏感电阻器是由半导体材料制成的。根据制作材料和工艺的不同,分为光敏电阻(其阻值随光线的强度变化)、热敏电阻(其阻值随温度的高低变化)和压敏电阻(其阻值随压力的大小变化)等。敏感电阻器一般在工业控制中作为传感器使用。

2.1.2 电阻器与电位器的命名方法

国家标准规定,电阻器的命名由四部分组成,其各部分意义如表 2.1.1 所示。

表 2.1.1 电阻器的命名方法

第一部分主称		第二部分材料		第三部分特征		第四部分
符号	意义	符号	意义	符号	意义	序号
R	电阻器	T	碳膜			用数字 1、2、3...表示 说明:对主称、材料、特征相同,仅尺寸、性能指标略有差别,但基本上不影响互换的产品,则标同一序号
		P	硼碳膜			
		U	硅碳膜			
		H	合成膜			
		J	金属膜			
		Y	氧化膜			
		X	线绕			
		S	实心			
		M	压敏			
		G	光敏			
		R	热敏	B	温度补偿用	
				C	温度测量用	
				G	功率测量用	
		P	旁热式			
		W	稳压用			
		Z	正温度系数			

2.1.3 电阻器与电位器的技术指标

线性电阻器的主要技术指标是额定功率和标称阻值。

1. 额定功率

额定功率是指在规定的环境温度和湿度下,假设周围空气不流通,在长期连续工作而不损坏和不改变电阻器性能的情况下,允许消耗的最大功率。当超过其额定功率范围时,电阻器的阻值及性能会发生变化,甚至发热烧毁。所以选择额定功率时要留有余量(大 1~2 倍)。常用电阻器的额定功率系列如表 2.1.2 所示。

表 2.1.2 电阻器的功率系列

线绕电阻器额定功率系列/W										非线性绕电阻器额定功率系列/W											
0.05	0.125	0.25	1	2	4	8	12	16	25	40	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100
			75	100	250	500															

需要注意的是,电位器的额定功率是两个固定端上允许消耗的最大功率,不等于中间抽头与固定端之间的功率。

2. 标称阻值系列

标记在电阻器上的阻值称为标称值。通用电阻的标称值系列和允许误差如表 2.1.3 所示。(该标称值系列也适用于电位器和电容器。)

表 2.1.3 电阻器的标称值系列

标称值系列	允许误差	标称值											
E24	+5%	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E12	+10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E6	+20%	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8											

注:实际数值为表中数值再乘以 10^n , 其中 n 为正整数或负整数。

3. 精度

实际阻值与标称阻值的相对误差为电阻的精度。普通电阻的精度可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种,精密电阻的精度可分为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 等几种。在电子产品设计中,可根据电路的不同要求选用不同精度的电阻。精度越高,电阻的价格越贵。

4. 阻值和误差的标注法

① 直标法

将电阻器的主要参数和性能指标用数字或字母直接标注在电阻器上。

② 文字符号法

将电阻器的主要参数和性能指标用文字、数字符号有规律地组合起来标注在电阻器上。例如, 0.1Ω 标记为 $0\Omega 1$, 3.3Ω 标记为 $3\Omega 3$, $3.3k\Omega$ 标记为 $3k3$ 。其允许误差用字母表示: J 为 $\pm 5\%$ 、K 为 $\pm 10\%$ 、M 为 $\pm 20\%$ 等。

③ 色标法

用不同颜色的色环表示电阻器的阻值及误差等级。用色环标记的电阻器,其颜色醒目、标记清晰、不易褪色,从每个方向都能看得清电阻器的阻值和允许误差,给安装、调试和维修带来极大的方便,已被广泛采用。普通电阻器采用四色环表示法,精密电阻器采用五色环表示法。各色环颜色代表的含义见表 2.1.4。色环法表示的电阻值单位一律是 Ω (欧姆)。

表 2.1.4 色标的基本色码及意义

色 别	左第 1 环	左第 2 环	左第 3 环	右第 2 环	右第 1 环
	第 1 位数	第 2 位数	第 3 位数	应乘倍率	精度
棕	1	1	1	10^1	F $\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	G $\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	D $\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	C $\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	10^7	B $\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑	0	0	0	10^0	
金				10^{-1}	J $\pm 5\%$
银				10^{-2}	K $\pm 10\%$

色标电阻(色环电阻)可分三环、四环、五环、六环等标法。常用的三、四、五环含义如图 2.1.6 所示。为避免混淆,第五环的宽度是其他色环的 1.5~2 倍。

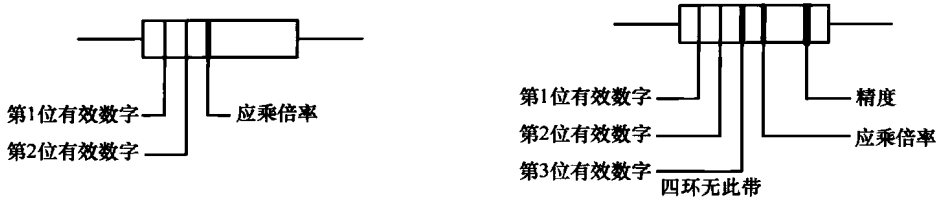


图 2.1.6 电阻色环含义

例如阻值为 $27\text{k}\Omega$, 精度为 $\pm 5\%$ 的色环如图 2.1.7(a) 所示, 而阻值为 $220\text{k}\Omega$, 精度为 $\pm 1\%$ 的色环如图 2.1.7(b) 所示。

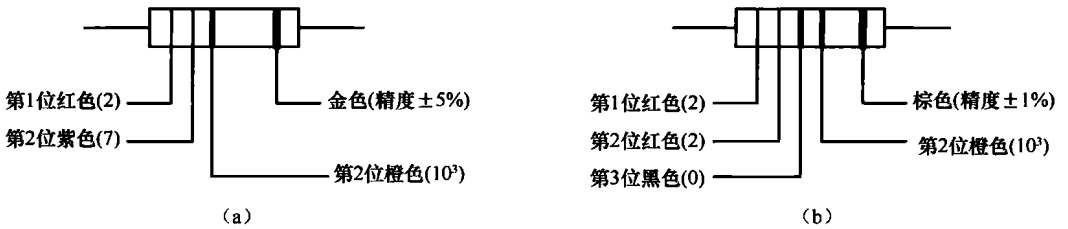


图 2.1.7 色环电阻示例

2.1.4 电阻器与电位器的选择及使用

1. 固定电阻器的选择及使用

① 选择电阻器的方法

首先根据电路的具体要求确定电阻器的标称值和误差等级;然后选择电阻器的额定功率,要注意额定功率必须大于实际承受功率的两倍。还要根据电路中电阻的用途和工作频率选择电阻器的类型。

② 电阻器的使用

在使用前应先检查外观有无损坏,用万用表测量其阻值是否与标称值相符合。在安装时,应将其引线刮光镀锡,以保证焊接可靠,不会产生虚焊。装配时应使电阻器的标记部分朝上,以便调试和维修查对。安装精密电子设备时,非线绕电阻器必须经过老化处理,以提高其稳定性。

2. 电位器的选择及使用

根据需要进行选择不同结构形式和调节方式的电位器,如旋转式开关电位器(动接点对电阻体有磨损)或推拉式开关电位器(动接点对电阻体无磨损),还要根据电路要求选择不同技术性能的电位器。

线绕电位器接触电阻低、精度高,温度系数小,其缺点是分辨率较差,可靠性差,不宜应用于高频电路。其标称阻值一般低于 100Ω ,既有小功率型也有大功率型。

实心电位器体积小、耐高温、分辨率高。

合成碳膜电位器分辨率高、阻值范围宽、可靠性高,但阻值的稳定性及耐高温耐湿性差。

金属膜电位器耐湿性能好、分辨率高,但阻值范围窄。