

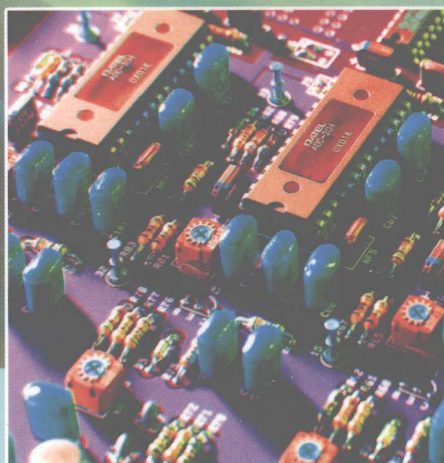


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电 工 学 实 验

林育兹 主 编

李继芳 李延福 陈 新 副主编



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

内容简介

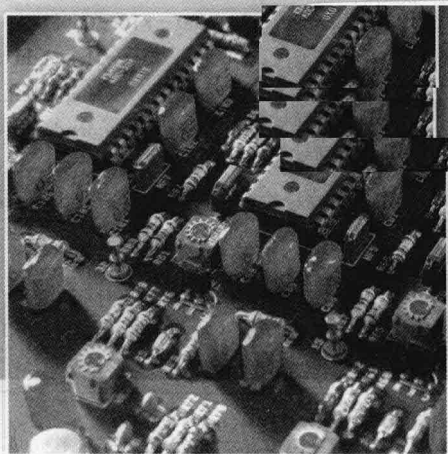
本书是根据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录》和《普通高等学校本科专业设置指南》的要求，结合我国电气工程及其自动化专业人才培养目标和特点，参照国际电工电子学会（IEEE）和欧洲电工电子学会（EURASIP）等专业学会颁布的教材编写大纲，并参考国内外优秀的教材编写而成的。本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

电 工 学 实 验

Diangongxue Shiyan

林育兹 主 编

李继芳 李延福



高等教育出版社 · 北京
Higher Education Press Beijing

ISBN 7-04-018000-0
00-8800S 号核编

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会与高等教育出版社共同策划组织的电工电子实验系列课程建设项目的首批入选教材。

本书分为9章,包括电工学实验概述、电工电子测量仪器、维修电工技能实训、Multisim 仿真应用、电路基础实验、电气控制基础实验、电子技术实验、印制电路板设计与制作、综合设计与实践等内容。本书从基本实验、技能实训到系统综合设计,在内容叙述上由浅入深、通俗易懂,在结构编排上循序渐进、融会贯通,较全面地反映了电工学的实验教学体系,既方便课堂教学,也适合学生自主实验。全书力求突出实践与理论相结合、基础实验与技能实训相结合、基本实验与综合训练相结合的特色。

本书在厦门大学和厦门大学嘉庚学院的非电类理工科专业中使用多年,并借鉴了多所院校的实验改革经验,结合我校在电工学实验教学方面的改革成果,进行了多次修订。本书可作为高等学校电工学实验、电工与电子实验、电工电子课程设计、电工电子技能实训等课程的教材,亦可作为维修电工以及从事电工电子技术工作人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验 / 林育兹主编. —北京: 高等教育出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-04-029096-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 021167 号

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
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京民族印务有限责任公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 19.25
字 数 470 000

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

版 次 2010 年 3 月第 1 版
印 次 2010 年 3 月第 1 次印刷
定 价 26.70 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 29096-00

前 言

“电工学”包括电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电气控制基础等内容,是非电类理工科专业学生的必修基础课程。配套的“电工学实验”是实践性很强的教学环节,起到了理论联系实际、承上启下的桥梁作用。通过实验教学培养学生的创新意识,提高学生的基本操作技能和综合实践能力,养成科学求实的严谨作风,是本书的宗旨。

本书作为电工学实验教材,共有9章。第1章是电工学实验概述,简明扼要地叙述了电工学实验的总体要求、实验程序、用电安全常识以及电路元器件的认识,由林育兹编写。第2章是电工电子测量仪器,首先介绍了测量的概念和数据的处理方法,然后集中介绍常用的几种电工电子仪器仪表的使用方法、注意事项和案例,由林育兹编写。第3章是维修电工技能实训,按照劳动部维修电工中级职业标准,详细介绍电工接线规范和电气设备故障的排除方法,由林育兹、郭光真、陈新共同编写。第4章是Multisim仿真应用,着重介绍Multisim软件在电工学实验中的使用方法及应用案例,为后续仿真实验奠定基础,由李延福、林育兹、李继芳共同编写。第5章是电路基础实验,介绍电路基本原理的验证实验方法,包括直流电路、交流电路和暂态电路的实验内容,由林育兹、李继芳共同编写。第6章是电气控制基础实验,包括采用继电器-接触器和可编程控制器实现电动机控制的实验内容,由林育兹、沈绿楠共同编写。第7章是电子技术实验,包括了模拟电子技术和数字电子技术的实验内容,由林育兹、黄文娟共同编写。第8章是印制电路板设计与制作,从电子线路板的设计、制作工艺到焊接调试内容都作了介绍,由林育兹、肖宝森、潘凯共同编写。第9章是综合设计与实践,介绍综合应用中规模集成电路、可编程控制器、单片机来设计系统电路的理念、设计过程、安装和调试方法。由李志辉、林育兹、阳宾共同编写。全书由林育兹任主编并统稿。

为配合课堂教学和学生开展自主性实验,本书在内容叙述上由浅入深,通俗易懂。每个实验均对实验目的、实验任务、实验原理、实验内容及测试方法进行了详细介绍,并对实验预习和实验报告提出了具体要求。从基本实验、技能训练到综合设计的结构编排上,循序渐进,各实验环节紧密衔接,不同层次之间融会贯通,较全面地反映了电工学的实验教学体系。本书实验内容丰富,各院校可根据具体情况,选用本书的全部内容或其中部分内容。

为了更有效地培养学生的实践能力,本书把电工学实验设计为基础型实验、技能型实训和综合型设计三大模块,不仅涵盖了电工学实验的教学内容,还适当进行了拓展。既有经过精心挑选的典型基本实验项目,又有充实的技能实训内容,还设置了综合实践环节。对于实验内容,尝试打破按机型实验的传统格局,要求学生在理解实验原理的基础上能够自行搭接电路,以加强学生的动手能力,提高实践技能。在完成基本实验内容的基础上,增设有扩展实验项目,以满足学生差异化需求。本书力求突出实践与理论相结合、基础实验与技能训练相结合、基本实验与综合实践相结合的特色。

本书由华南理工大学殷瑞祥教授主审。殷瑞祥教授在百忙中抽出时间对本书进行了仔细审阅,提出了很多宝贵的意见和建议。本书从立项、编写到出版,还得到了中国高等学校电工学研究会、高等教育出版社的大力支持和帮助。在此,特向殷瑞祥教授、中国电工学研究会和高等教育出版社一并表示感谢。

本书的教学课件、部分视频以及其他相关资料的更新,都将上传到 http://lab.xujc.cn/sfzx/downloads_list.asp(厦门大学·厦门大学嘉庚学院机电工程训练省级示范中心)网站中,建议读者根据需要免费下载,仅供学习参考,禁止用于以赢利为目的的其他场合。

由于编者水平及时间限制,对于本书中存在的错误和疏漏,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 10 月

目 录

第1章 电工学实验概述	1	2.6 普通示波器	51
1.1 电工学实验总体要求	1	2.6.1 示波器的基本结构与使用 方法	52
1.1.1 实验目的与任务	1	2.6.2 实验操作	56
1.1.2 实验基本程序	2	2.7 兆欧表和钳形表	58
1.2 实验室安全用电常识	8	2.7.1 兆欧表	58
1.2.1 实验室用电与保护	8	2.7.2 数字钳形表	59
1.2.2 实验室安全用电规则	9	2.8 功率表和电度表	61
1.2.3 电气火灾的消防知识	10	2.8.1 功率表	61
1.3 触电的急救与预防	11	2.8.2 单相电度表	62
1.3.1 常见触电方式	11	第3章 维修电工技能实训	65
1.3.2 触电的急救方法	13	3.1 电工常用工具及操作训练	65
1.3.3 触电的预防	15	3.2 继电-接触器控制电路的接线 训练	70
1.4 电路元器件的认识	17	3.2.1 绘制和识读电气线路图的 原则	70
1.4.1 电阻器	17	3.2.2 导线的连接与绝缘的恢复	74
1.4.2 电容器	18	3.2.3 电动机控制电路的安装方法	78
1.4.3 电感器	20	3.2.4 接线实际训练	81
1.4.4 半导体器件	23	3.3 继电-接触器控制电路的故障 排除训练	85
第2章 电工电子测量仪器	29	3.3.1 继电-接触器控制电路故障 检修的一般方法	85
2.1 测量数据的分析与处理	29	3.3.2 X62 铣床故障模拟实训装置及 训练内容	88
2.1.1 测量的有关术语	29	3.3.3 T68 镗床故障模拟实训装置与 训练内容	92
2.1.2 测量误差及减小方法	30	第4章 Multisim 仿真应用	97
2.1.3 测量数据的记录与处理	34	4.1 Multisim7 界面	97
2.2 直流电源	38	4.1.1 操作界面	97
2.2.1 简易型直流电源	38	4.1.2 Multisim 7 仪器仪表的使用	99
2.2.2 多功能直流电源	39	4.2 Multisim7 的基本操作	109
2.3 万用表	41	4.2.1 Multisim7 界面的定制	109
2.3.1 数字式万用表	42		
2.3.2 模拟式万用表	44		
2.3.3 实验操作	45		
2.4 函数信号发生器	46		
2.5 交流毫伏表	49		
2.5.1 数字式交流毫伏表	49		
2.5.2 模拟式交流毫伏表	50		

4.2.2 元件的选取操作	110	7.5 编码器和译码器的应用	199
4.3 电路仿真设计示例	111	7.6 组合逻辑电路的设计及应用 ...	204
4.3.1 电位测量	111	7.7 集成触发器和计数器的应用 ...	205
4.3.2 观测 RC 电路的频率特性	112	7.8 集成定时器的典型应用	211
4.3.3 反相比例运算电路	115	第 8 章 印制电路板设计与制作	217
4.3.4 积分电路	115	8.1 印制电路板概述	217
4.3.5 数字秒表电路	116	8.2 印制电路板的设计	218
第 5 章 电路基础实验	120	8.2.1 印制电路板的前期准备	218
5.1 电路元件的伏安特性测试	120	8.2.2 印制电路板的布局	220
5.2 基尔霍夫定律的验证实验	125	8.2.3 印制电路板上元器件的安装及 排列	222
5.3 戴维宁定理的验证实验	131	8.2.4 印制电路板的设计步骤	227
5.4 单相正弦交流电路的研究	136	8.2.5 使用 Protel 设计印制电 路板	228
5.5 交流电路的频率特性研究	141	8.3 印制电路板的制造工艺	239
5.6 三相电路的研究	147	8.3.1 单面印制电路板的快速 制作	239
5.7 电路暂态过程的研究	154	8.3.2 双面印制电路板的制作	241
第 6 章 电气控制基础实验	160	8.4 焊接与调试	259
6.1 三相异步电动机的直接起动 控制	160	8.4.1 焊接基本步骤	259
6.2 三相异步电动机的顺序控制 ...	163	8.4.2 实训练习	262
6.3 三相异步电动机的正、反转 控制	166	第 9 章 综合设计与实践	267
6.4 三相异步电动机的时间控制 ...	168	9.1 水槽液位控制器设计	267
6.5 三相异步电动机的 Y/ Δ 降压 起动控制	170	9.2 交通灯控制器设计	273
6.6 三相异步电动机的制动控制 ...	172	9.3 8 路抢答器设计	280
第 7 章 电子技术实验	177	9.4 五层楼电梯设计	285
7.1 单管放大电路的研究	177	9.5 函数信号发生器设计	289
7.2 运算放大器的线性应用	183	9.6 多功能数字电子钟设计	295
7.3 有源滤波器的应用	189	附录 电工学实验须知	300
7.4 直流稳压电源的应用	194	参考文献	301

第1章 电工学实验概述

电工学实验是电工学课程及理工科专业中不可或缺的重要教学环节。它渗透了工程技术的特点,在培养学生的实践能力过程中起着承上启下的作用。为了使学生更好地完成实验任务,本章不仅对实验目的和任务、实验程序提出了具体要求,还对实验室用电安全、触电急救与预防常识以及电路元器件的认识,分别进行了介绍。这些知识既对电工学实验有指导意义,也对以后工作很有帮助。因此,建议学生在实验课前认真通读本章内容,以便对电工学实验有一个整体的了解。

本章实验教学课时建议为2~4学时。课堂教学建议着重讲解实验程序、要求和基本方法,并结合不同高校的实验室设备加以介绍,其他内容由学生自学。

1.1 电工学实验总体要求

1.1.1 实验目的与任务

电工学实验的目的是通过实验手段,使学生巩固和加深理解电工学的基础理论知识,掌握实验方法,熟悉实验过程,积累实验经验,获得实验技能,并树立工程实践的观点,养成严谨的科学作风,具备观察、分析和解决实际问题的能力,为进一步学习、应用和创新研究打下坚实的实践基础。

从实验任务看,电工学实验可分为3个层次:①基础性验证实验,主要以元器件特性、参数和基本单元为实验电路,根据实验目的、实验任务和实验步骤,验证电工学课程的有关原理,巩固所学的理论知识,掌握包括电路识图、接线规范、仪器仪表使用、简单故障排除、数据记录分析、处理常见问题等基本技能。②提高性实验,主要以应用案例为背景,根据给定的实验电路,由学生自行拟定实验方案(包括理论依据),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问题(包括排除故障)。③综合性设计实践,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,培养学生对所学知识综合运用的创新研究能力。

根据教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会拟定的电工学课程教学基本要求,结合高校在本课程中的教学实践和改革经验,对本课程应体现的能力培养目标提出了以下的教学基本要求:

①通过基础性验证实验,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。通过实验,加深理论与实践的联系,体会理论对实践的指导意义。

② 通过提高性实验,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。

③ 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)。

④ 使用 EDA 等仿真软件,对实验电路进行仿真分析和辅助设计。

⑤ 通过综合性设计实践,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。

⑥ 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。

⑦ 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。

1.1.2 实验基本程序

一个电路的实验,从相关知识的预习开始,经过实验电路的连接、实验现象的观察,到测试和处理数据、排除遇到的故障,直至撰写出完整的实验报告,每个环节都直接影响着实验效果。为此,要求按以下基本程序做好工作。

1. 实验预习

实验前预习与否是关系到实验能否顺利进行和收到预期效果的重要前提。预习时要恰当地应用电工学理论清楚阐述电路原理。在此基础上,应综合考虑实验环境和实验条件,对实验任务和方案的可行性进行分析,预测实验结果,并写出预习报告。预习报告主要包括以下几方面内容:

(1) 了解实验标题

实验标题是实验内容的高度概括。明确实验标题,才能明白自己将要进行什么实验,并围绕着实验的中心内容开展一系列工作,包括提前做好器材和资料的准备。

(2) 明确实验目的和任务

实验目的是实验需要达到的目标或效果。实验任务是设计实验过程的依据。任何的实验内容都应该明确实验目的和任务,才能做到有的放矢。实验目的和任务不明确的实验只能是盲目性的实验,同时也是对实验资源的一种浪费。

(3) 理解电路原理

电路原理是实验的理论依据。它包括基本理论的应用、实验电路的设计、测量仪表的选择和实验方案的确定等。一方面是通过理论引用的扼要陈述,应用有关公式对电路进行理论计算,以确定实验电路的参数,确立较合理的实验方案,并对实验结果有科学的预测,把握理论对实验的指导作用;另一方面是注意实验电路与原理电路的区别。例如实验电路除了原理电路之外,通常还有测量电路,需要考虑测量仪器如何接入以及仪器等因素对实验结果的影响。显然,实验数据与理论数值也有差异。

(4) 设计操作步骤

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,为完成实验内容所设计的实验步骤必须细致,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。例如从仪器设备的安全考虑,测量数据之前还应选择合适的量程;多功能仪器在使用前要注意功能旋钮的定位;可调电源通电前一般先调零、通电后再调到合适数值等。从人身安全考虑,必须遵循先接线后合电源、先断电后拆线的操作顺序;当设备带(强)电时应采用单手操作,避免人体接触带电体等。

(5) 确定观察内容、测试和记录数据

实验观察的内容包括示波器的波形、仪表指针的偏转方向及定位刻度、数字仪表的读数、设备工作状态(包括温度、声响、振动、灯光、气味)的变化等。测试实验数据包括由实验目的所直接确定的物理量或为获得这些物理量而确定的间接物理量、反映实验条件的物理量以及作为实验用的物理量等。预习时应拟定好所有记录数据和有关测试内容的表格或图框。凡是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。

(6) 进行仿真分析

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,对于有仿真条件的学生,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定最合理的实测方案;同时对实验结果做到心中有数,以便在实物的实验中有的放矢,少走弯路,提高效率,节省资源。常用的仿真软件有 PSpice、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。

这里要特别提醒,在预习阶段实验者还要根据自身实际情况以及实验需要,对实验的预备知识做必要的了解。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、特殊器件的应用、实验注意事项、安全操作规范等。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,这对积累实验经验、缩短实验时间、提高实验效果和培养实践能力将有很大帮助。

2. 实验操作

实验操作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) 了解实验器件与仪器设备

实验器件与仪器设备不同于理想元件,同一种性质(类型)的器件或仪器设备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。实验所涉及的元器件主要包括电阻器、电感器、电容器、晶体管、场效应管、集成模拟运算放大电路芯片、集成数字电路芯片、各种开关、各种指示灯、熔断器、继电器、接触器、变压器、电动机、传感器等;仪器设备主要有直流电源、交流调压电源、信号源、示波器、电压表、毫伏表、电流表、电阻表、功率表、电度表、频率特性仪、可编程控制器、单片机、计算机等。因此,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。

(2) 连接实验电路

连接实验电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。因此,需要做好以下三方面的工作:

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)。

图 1.1.1 是实验对象的一种常见的布局形式。图中,函数信号发生器摆放在实验电路的左侧或上方,测试仪器摆放到实验电路的右侧,实验电源放在中间位置。这种布局与电路原理图的对应关系很接近,便于接线和纠错。

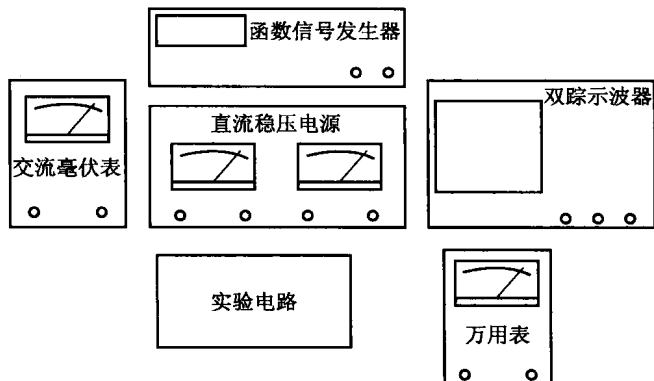


图 1.1.1 实验对象的布局

使用专用实验台时,实验对象的布局相对固定,只要将实验挂箱摆放到合适位置,便于实验操作即可。

② 有序连接线路。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。在连接主回路时,应从电源的一端(负极或中性线)开始,依次连接各元件,最后接到电源的另一端。电源一定要形成回路。每个连接(端)点通常不多于两根导线,以避免接触不良。连线时要考虑元件、仪器仪表的极性、参考方向、公共参考点与电路图的对应关系。

目前在各种专用实验台上,通常都使用一定规格的接线板(或实验模块)和挂箱。利用板块箱体上的插孔就可以直接接插、安装和连接实验电路,而无需剥线和焊接。这给连接电路带来便捷,但也容易因接线不当而发生差错。为此,应注意做到以下几点:

a. 以核心件为中心进行布局。首先弄清接线板块或实验挂箱的结构,然后根据它们的结构特点来安排元器件的位置和电路的布线。通常是以核心器件(如单管放大器的核心器件是三极管)为中心,并根据输入、输出、电源三者分离的原则,以适当的间距来安排其他元件。对于复杂的实验电路,建议先画出实物布局图和接线图,再按图分别接线,可减少差错和便于查找线路。

b. 接插元器件要细心。接插之前,先用小钳子或镊子将待插元件和器件进行整形。例如将集成电路芯片的插脚拉平直,电阻、电容和电感等元件应根据板块的孔距,将插脚两端分别弯曲成接近 90° 角,便于插接。插接和取下元器件时,均需小心用力,以免插脚变形或折断。如果使

用市场上的面包板,插接的(单股)导线一般以 0.5 mm^2 左右的线径为宜,不能太粗或太细,导线的剥线长度约为 10 mm 为宜,以防裸露的线头之间碰接短路。

c. 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。有接线头的地方要拧紧或夹牢,以防止接触不良或脱落。

d. 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”而导致被测电路或局部短路。

e. 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 细心检查连线。电路连接之后,并非就可以通电实验了,而是要对照实验电路图,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,它既是对电路连接的认识,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。主要内容是检查线路是否接错(或短路)位置,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(36 V 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。

(3) 实际测试与数据记录

实验电路虽然经过了理论计算、仿真分析,甚至通过了前人的可行性验证,但理论、仿真与实际往往有可能存在很大差异。因此,对于一个连接好的实验电路,还需要对它进行实际测试,以确定实验与理论的差别,并判断是否符合实验要求。

① 预测。为保证测试数据的可信度,一般在实际测量之前都要进行预测。主要是通过预测来观察各种测量数值的变化情况和出现的现象,而不必仔细读取数据。通过预测主要达到以下目的:

a. 及时发现问题。预测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;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。电路通电时,还应注意观察元器件和设备是否烫手,电路有否冒烟和异味,工作电流和电压是否超过额定值等。如果发现上述异常情况,应立即断电排查故障。

b. 大概了解数据。通过预测可以对实验的全貌有一个数量的概念。了解被测量的变化范围,便于选择合适的仪表量程;了解被测量变化的快慢趋势,以确定测试点的分布,合理选取数据。

② 测试和记录。预测结束后,应按实验步骤进行实际操作、观察现象和数据测量。实验数据应记录在已拟定的数据表格中,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,不要轻易涂改原始记录数据,以便比较和分析。

在测量过程中,应及时对数据作初步分析,以便及早发现问题,立即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,必要时应多次测量,取用它们的平均值以减小误差。

一个设计性电路的测试任务通常还包括电路的调试。一般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。

a. 静态调试。它是指在没有加入信号的条件下进行的调试工作,使电路各输入和输出的直流参数都符合设计要求,所以也称为直流调试。对于模拟电路,静态调试的任务大多是将电路调整在线性工作状态;对于数字电路,一般要求处于开关工作状态。

b. 动态调试。它是指在静态正常条件的基础上加入信号的调试工作,使电路各种输入和输出的交流参数都符合设计要求。对于模拟电路主要是借助仪器观测包括信号波形、幅值、相位、频率等参数;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的要求存在较大差异,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。

③ 复核。实验完成之后,不要急于拆除实验线路。应先切断电源,待检查实验测试内容没有遗漏和错误后再拆线。一旦发现有异常或误差很大,必须在原有的实验状态下查找原因,作出相应的分析,并加以解决(如重新测试)。

(4) 常见故障的检查与处理

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,例如断线、接错线等问题。遇到故障不一定坏事,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,最后查找到故障部位。故障的检查通常采用以下4种方法。

① 断电检查法。它是指当实验接错线,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、焦臭味以及发烫等)将导致故障的进一步恶化时,应立即关断电源进行检查的方法。一是对照原理图,对实验电路的每个元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,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;二是使用数字万用表的“”(讯响)挡,检查各支路是否连通,元件是否良好。若万用表的蜂鸣器有响声,则线路连通;若指示为“1”且无声响,表示线路断开。也可以通过电阻挡测量其电阻值的大小来判断电路的连接情况。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,需要专用仪器测试或用好芯片替换来判断。

② 通电检查法。它是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。一般是先直观检查,再进行参数测试。

a. 直观检查法。它是电路在通电下对工作状况进行直接观察检查的方法,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。

b. 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、闸刀开关、熔断器到电路输入端有无电压,电子类仪器仪表有否供电,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,多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。在实验电路中通过断开某部分电路,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,其输出电流明显过大。若断开该电路中的某条支路时恢复了正常,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,直观认识工程现场,提供了安全、无损和便捷的工具。因此,应很好地加以掌握和利用仿真工具,可以达到事半功倍的效果。

(5) 实验后整理

全部实验结束后,应将所用仪器设备复归原位,将导线整理成束,清理实验桌面,填写实验日记,并由教师签字确认后方可离开实验室。

3. 实验总结

实验报告包括预习报告和实验总结两部分。它们既是对实验工作的具体总结,也是实验内容不可或缺的组成部分。其中,预习报告侧重于理论分析和实验方案的准备,而实验总结则侧重于实验过程、数据处理结果和经验体会。

(1) 实验概况

实验标题、理论课程名称、实验类型(即基础实验、技能实践、综合设计)和实验者的基本情况(包括院系、专业、年级、学号、姓名、实验设备编号、同组实验人的姓名和实验报告的完成日期)。这部分内容应单独写在一页纸上,可作为统一的封面,便于教师了解实验者的基本情况。

(2) 实验原始记录

实验原始记录是对实验结果进行分析和研究的主要依据。主要包括:

① 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。

② 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。

③ 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)。

④ 测试所得到的原始(含静态和动态)数据和波形等,包括标注选用仪器的名称、型号、量程以及数据的单位。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 实验小结

实验小结泛指实验的收获和体会,主要从三个方面加以比照。

① 从实验结果与预习报告进行比照,看实验任务的完成情况,是否达到了实验目的和实验任务,是否按照设计步骤进行实验。

② 从实验进程与理论分析进行比照,看是否验证了经验性的调试方法、公式的计算结果、技术指标的数据;是否体验到理论与实验的异同之处;是否获得应用性乃至理论性研究成果。

③ 从实验经历与能力提高进行比照,看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】

1.1.1 电工学实验在总体上要达到哪些目的和要求?

1.1.2 预习报告和实验总结有哪些区别和联系?它们各自有哪些主要内容?

1.1.3 对于实验中遇到的故障现象,应如何检查和处理?

1.2 实验室安全用电常识

1.2.1 实验室用电与保护

电力网的低压输电线路一般采用三相五线制配电。实验室一般都提供有三相交流电源、单相交流电源(即取三相的某一相)及由整流之后的直流电源。它们通常都可以调节,因此使用前应先置零,使用时再根据需要调至合适的数值上。要特别注意,几种电源在使用时不得搞混。为此,直流电路(弱电)和交流电路(强电)建议采用不同规格的连接导线,以避免接错电源。

实验室的用电大多采用了多重的保护措施,一般有接零保护、过流保护和漏电保护等。

1. 接零保护

把仪器设备的金属外壳与中性线(零线)相连的保护方式称为接零保护,实验室通常采用接零保护方式。对于单相交流电源,常用三孔(眼)插座,其中的大孔接地线,左孔接中性线,右孔接相(火)线,连接示例如图1.2.1所示。

验电笔可用来判断相线与中性线。它由一个大阻值的限流电阻与氖灯串联而成。当验电笔

接触相线时,电压经验电笔、人体、大地构成回路,使氖灯发光,其电流很微弱,以保护人体不受伤害;当验电笔接触中性线(或地线)时,由于氖灯两端无电压,便不会发光。因此,用验电笔检测可判断被试物体是否带电。注意,普通验电笔仅用于检测 50 ~ 380 V 的电压,不允许用于检测高压,以免导致触电。

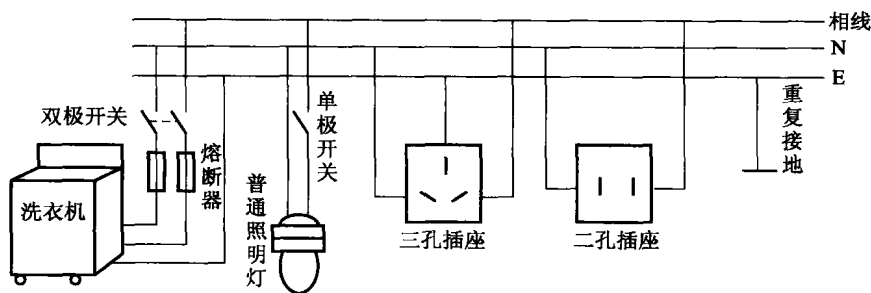


图 1.2.1 单相用电设备的接零保护

2. 过流保护

实验室的电源常用熔断器作为过流保护装置。它由低熔点合金(如铅锡合金)制成。当用电设备过载或短路时,会产生大电流,使熔断丝熔断,从而切断电路。使用熔断器应注意其额定电流与电路正常负载的正确配合,以免影响用电设备的正常工作。

传统熔断器作为过流保护只能保护一次,烧断了必须更换。目前专用实验台上多数采用自复保险丝(PolySwitch),它是一种以聚合物为基础掺入导体制成的新产品。当电流急速增加时,自复保险丝的温度瞬间上升,其阻抗迅速提高,使通过的电流在极短的时间内变小了,电路如同开路,达到保护的目的。当异常电流消失后,它即可瞬时恢复成低阻抗导体,无需人为更换。有的实验台瞬间出现过流时,还将通过声光报警,只要按下复位按钮即可恢复。

3. 漏电保护

使用交流电源的场所,一般都安装有漏电保护器。当负载相线与地线之间发生漏电或由于人体接触相线而发生单相触电时,漏电保护器就自动跳闸而断开电源,对电器及人身安全起到保护作用。专用实验台通常采用电流型和电压型两种漏电保护装置,对实验过程中的任何漏电或单相触电,都能够断开电源并且告警。使用中若漏电保护器动作,应查明故障并排除后,再按下漏电保护器的恢复按钮,使其恢复保护功能。

专用实验台的用电设备一般都选用三相隔离变压器,将实验台上的用电与电网之间进行电气隔离,对用电安全起到较好的保护作用。

1.2.2 实验室安全用电规则

人体是导体,当人体不慎触及电源及带电导体时,电流将通过人体,使人体带电,简称触电。为了防止触电事故的发生,要求每个实验人员在实验前都应熟悉安全用电常识,并且在实验过程中严格遵守安全用电规则 and 操作规程。

① 实验前要了解相关仪器设备的性能规格和使用方法,熟悉用电安全规定。实验中应按额定值正确使用仪表及电气设备,不能过载。例如当被测值难以估计时,仪器量程应置最大,然后

根据指示情况逐渐减小量程。特别要注意:不能用电流表及万用表的电流挡、电阻挡去测电压;不能把功率表的电流线圈并联在电路中;不能用万用表测量通电电路中的电阻等。

② 实验室内不允许穿拖鞋或赤脚,禁止擅自合上电源闸刀和私自动用与实验无关的设备。特别是消防等安全保护器材,未经许可不得动用,并保持实验室整洁和良好秩序。

③ 连接线路时,严格遵守“先接线后通电,先断电后拆线”的操作程序。不允许将接在电源导线的另一头空甩着。其他部分也要避免有空甩线头的现象,以免发生电源短路、烧坏仪器或使人体触电。线路连接好后,多余或暂时不用的导线都要拿开。对强电实验中裸露的导线接头,建议用绝缘胶布包扎好,以避免人体碰触。

④ 在实验过程中,同组人员应配合默契。接通电源前要事先征得他人同意。如果有人正在接线或改线时,不得擅自接通电源;尤其是强电的实验线路,必须先自查,再由同组同学互查,最后由教师复查,确认无误后才允许通电实验。

⑤ 电源接通后,人体不要触及带电体。对于强电实验要求单手操作,不允许带电改接电路。电烙铁使用时应放在散热支架上,周围不能有易燃物品及塑料制品,也不能把电烙铁平放在桌面上,以防烫坏物品及发生事故。电动机通电时,应防止接线及其他物品如衣物、手套、围巾、长发等卷入轴内;禁止用手捏转轴使电动机停车,以免发生意外。

⑥ 电路及仪器设备通电时,应注意观察仪器设备运行是否正常,如发现异常现象(异常声响、发烫、冒烟火、焦臭味等),应立即切断电源,查找原因,并报告教师处理。

⑦ 发现触电者,应立即切断电源。如果无法立即断电,应用绝缘工具将电源线断开,使触电者迅速脱离电源,及时报告教师处理。

遵守安全用电规则应贯穿在整个实验过程,自始至终以主人翁的态度爱护仪器仪表和实验设施,做到人员和设备都安全。为了安全有序地开展电工学实验,我们制定了电工学实验须知,详见附录。

1.2.3 电气火灾的消防知识

电气设备在工作时会发热,若其温度超过规定值时,就容易发生火灾。因此,必须了解电气火灾的产生原因、扑救和预防方法。

1. 发生电气火灾的主要原因

高温是发生电气火灾的直接原因。在发电、变电和用电(包括实验室)等场所,产生高温的主要原因有电气设备或线路超载运行、发生短路故障、雷电所击、电火花或电弧、散热不良、通风口堵塞等,上述都有可能造成高温。有时继电器或接触器的触点接触不良、导线连接处松动等使接触电阻增大,也会造成该处局部高温。除了直接原因外,周围存放易燃易爆物,如易挥发性的油料、木材和塑料等易燃物质,也是不可忽视的因素。它们遇到火源,便会立刻着火燃烧。

2. 电气火灾的扑救和预防

发生电气火灾,应立即拨打119电话报告火警,向消防部门求助。扑救火灾时,首先应切断电源,以防触电。对于严重的电气火灾事故,还应通知电力部门到现场指导和监护扑救工作。

对尚未确定断电的电气火灾进行扑救时,一般选择不导电的灭火器进行扑救,如1211或干粉剂,不允许使用泡沫灭火剂或水枪,以免造成更大的危害。常用灭火剂的种类、用途以及使用方法,见表1.2.1。