



普通高等教育“十二五”规划教材
电工电子实验课程系列教材

电路实验教程

第2版

刘东梅 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费
电子课件

014000561

TM13-33
80-2

普通高等教育“十二五”规划教材
电工电子实验课程系列教材

电路实验教程

第2版

主 编 刘东梅
参 编 王晓媛 杨旭强 刘洪臣



中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第161286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: 董克勤 封面设计: 董永明 责任校对: 刘春霞
版式设计: 董永明 责任印制: 张 明
北京京丰印刷厂印刷
2013年9月第3版·第1次印刷
184mm×260mm·13印张·330千字
标准书号: ISBN 978-7-111-43342-3
定价: 28.00元



机械工业出版社



北航

C1687288

TM13-33

80-2

132000310

本书系统介绍了完成电路实验所必备的理论知识、计量知识、测量方法、常用实验仪器的原理和使用方法。实验内容基本覆盖了电路理论课程的重要知识点。

本书内容丰富,实验编排科学合理,充分考虑了学生的差异,体现了以学生为本、因材施教的教学理念。同时为学生在全开放、自主式学习模式下学习提供了丰富的资源。

本书实验内容注重学生电路基本实验技能的培养,同时又通过自主设计型实验培养学生的系统观念、工程观念和解决实际问题的能力。

本书可作为高等院校电子与电气信息类专业学生的电路实验课程教材,也可供相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验教程/刘东梅主编. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2013. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-43345-3

I. ①电… II. ①刘… 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 (2013) 第 161586 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 贡克勤 责任编辑: 贡克勤 卢若薇
版式设计: 霍永明 责任校对: 刘秀丽
责任印制: 张楠
北京京丰印刷厂印刷
2013 年 9 月第 2 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·13 印张·320 千字
标准书号: ISBN 978-7-111-43345-3
定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066
销售一部: (010)68326294
销售二部: (010)88379649
读者购书热线: (010)88379203

教材网: <http://www.cmpedu.com>
机工官网: <http://www.cmpbook.com>
机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>
封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》中人才培养模式的要求,在总结哈尔滨工业大学电路实验教学改革的最新成果的基础上,对原《电路实验教程》重新编写、修订而成。本次修订对第1版的内容进行了删改、调整和补充,注重于电路基本知识的讲解以及实验内容的全面性,基本覆盖了电路理论课程的重要知识点。

修订版对电路常用元器件和仪器仪表知识、电路测量技术进行了补充,增加了不确定度及其评定方面的相关知识。通过学习这些知识,学生可以增加实验操作的的目的性和规范性。与第1版相比,本版实验内容更为丰富,增加了荧光灯参数测量与控制特性的研究、裂相电路、滤波器、二端口网络、非线性混沌电路、磁化电流畸变等实验内容,其内容和难易程度基本覆盖了不同层次的教学要求。部分章节增加了拓展实验内容,有的还附有参考实验电路,赋予了学生更大的选择空间。另外,将三相电能及功率质量分析仪设备引入电路实践教学,为电路实验提供了前瞻性可操作实践平台,丰富了本书的实验内容和实验深度,为学生在全开放、自主学习模式下的学习提供了丰富资源。

本书对自主设计型实验的教学过程和要求做了详细的说明,并以范例的形式阐述了自主设计实验中遇到的问题及解决办法,引导学生主动思考、拓展知识、发现问题,培养学生科学研究的基本素质和工程实践的综合能力。

参加本书编写工作的有刘东梅、王晓媛、杨旭强、刘洪臣。刘东梅编写第1、3、9、12、14章,第2章2.3.2~2.3.6、2.4节,第6章6.3、6.4节,第7章7.1、7.2节,第8章8.3节与附录;王晓媛编写第4、5章,第2章2.1、2.2、2.3.1节,第6章6.1、6.2、6.5节,第8章8.1、8.2节;杨旭强编写第7章7.3节,第8章8.4节,第10章10.1~10.3节,第13章;刘洪臣编写第10章10.4节、第11章。本书由刘东梅担任主编,并负责全书的统稿。

哈尔滨工业大学电工基础教研室、哈尔滨工业大学电工电子实验教学中心的教师对本书的编写提出了许多宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

随着教育改革的深入发展,实验教学越来越受到普遍重视,这也是科学与技术发展以及市场经济对人才需求发生变化的必然结果。电路实验是电类专业学生第一门专业基础实验,它不但是专业技术能力的基础,也是学生日后走向社会,从事生产、科研等工作入门的基础。为此编者总结了多年电路实验教学经验,借鉴了其他相关教材,结合教育改革发展新形式的需要,编写了本教程。本书的编写目的是指导学生完成电路实验教学大纲要求的实验内容,实现电路实验开放教学,提高学生实践经验与动手能力,给学生更多的独立思考空间,培养其创新精神。

根据以往的教学经验,学生在做实验的过程中,因对定理的内容理解得不够深入透彻,对定理的验证也就无从谈起了。以往电路实验对电路定理的验证不能使学生有较大的收获,因为实验过程不仅是学生实际操作的训练过程,同时也是对电路定理的再次学习过程。本教程围绕实验目的,结合相关定理详细介绍了实验的基本原理,设计了具体的操作步骤以及掌握实验的测量方法,培养学生的操作技能并逐步积累实践经验。

本书第1、2章为实验教学及操作的基本要求与基本知识;第3~10章为基本实验;第11章为综合性实验;计划48学时。书中各章实验内容可根据开放教学的模式由学生自行选择,或根据学时需要加以取舍。

本书由齐凤艳任主编,并负责全书的统稿。齐凤艳编写第1、2、4、8、9章及第11章中11.3~11.6节与附录B;刘东梅编写第5、7、10章及第6章中6.3节与附录D、F、G、H;王晓媛编写第3章中3.1节、第6章中6.1、6.2节以及第11章中11.1节与附录A、C、E;史庚苏编写第3章中3.2节与第11章中11.2节。

哈尔滨工业大学电工基础教研室及电工电子实验教学中心的教师对本书的编写给予了多方面的指导并提出了宝贵的建设性意见,在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限,加之编写时间仓促,书中错误、疏漏以及不妥之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编者

编者

编者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 电路实验技术基础 1

- 1.1 电路实验课的意义、基本要求
与教学模式 1
- 1.2 基本实验项目型实验的教学过
程和要求 2
- 1.3 自主设计型实验的教学过程和
要求 6
- 1.4 供电和安全用电 7
- 1.5 电路实验常见故障及其检测 11

第2章 实验用电路元器件和 仪器仪表 14

- 2.1 电路实验常用元器件 14
- 2.2 电工测量仪表 21
- 2.3 电路实验常用电子仪器仪表 26
- 2.4 电路基本技能及操作规范 51

第3章 电路测量技术 55

- 3.1 测量误差的基础知识 55
- 3.2 测量不确定度 59
- 3.3 实验的数据表示与处理 62
- 3.4 电路基本电量的测量方法 64
- 3.5 电路测量基本技能训练 68

第4章 电路元件与电路基本 定律 72

- 4.1 伏安特性的测量 72
- 4.2 受控源的研究 77
- 4.3 基尔霍夫定律与电位的研究 83

第5章 电路定理 87

- 5.1 叠加定理与齐性定理 87
- 5.2 等效电源定理 91
- 5.3 特勒根定理 95
- 5.4 最大功率传输定理 98

第6章 正弦电流电路 100

- 6.1 正弦电流电路参数的测试 100

- 6.2 耦合电感的研究 105

- 6.3 电路元件参数特性的研究 108

- 6.4 荧光灯电路参数测量及控制特
性的研究 111

- 6.5 交流电源整流电路的研究 115

第7章 三相电路 119

- 7.1 三相电路的电压、电流及相序
的测量 119
- 7.2 三相电路功率的测量 123
- 7.3 裂相电路 125

第8章 频率特性和谐振现象 128

- 8.1 串联谐振电路 128
- 8.2 并联谐振电路 133
- 8.3 无源滤波器 136
- 8.4 有源滤波器 142

第9章 线性动态电路暂态过程 的时域分析 147

- 9.1 一阶电路的暂态过程 147
- 9.2 二阶电路的暂态过程 152

第10章 二端口网络 158

- 10.1 二端口网络参数的测定 158
- 10.2 二端口网络互易对称特性的
测定 162
- 10.3 对称二端口网络特性阻抗及
传播系数的测定 164
- 10.4 阻抗变换器及其应用 168

第11章 非线性混沌电路 175

第12章 均匀传输线 180

第13章 磁路 187

第14章 自主设计型实验实例 解析 190

附录 自主设计型实验报告的 撰写规范 201

参考文献 202

第1章 电路实验技术基础

1.1 电路实验课的意义、基本要求与教学模式

电路实验是大学本科电气、电子等相关专业的一门重要的专业技术基础实验课程，是电路理论课程的重要环节，在培养学生理论验证及基本实验技能的能力、动手能力、工程计算能力和掌握高新技术的能力方面起着举足轻重的作用。该实验把抽象的理论演绎于感性层面，并注重理论指导下实验技能的培养及综合能力的提高，旨在帮助学生将所学理论应用到实践环节，为后续专业课程的学习以及今后从事工程技术工作奠定坚实的基础。

通过电路实验课程，学生能够了解实际电路元器件的性能，理解实际应用与基本理论之间的联系；学会各类电子仪器仪表的使用方法以及电路计算机仿真分析方法，掌握基本电路电量和参数的测量方法；能够完成有一定内容深度和工作量的自主设计型实验，具备对实验结果的分析、处理能力，学会通过实践学习科技知识和综合用电的本领。

当代社会已经步入知识经济和信息化时代，培养高素质的创新人才需要不断革新教育理念和教育方式。《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》要求“把改革创新作为教育发展的强大动力。……改革教学内容、方法、手段，建设现代学校制度。”在此背景与形势驱动下，电路实验已经由单一的验证原理和掌握实验操作技术，拓展为一门综合技能训练的实践课程，成为实验技能基本训练的重要环节。同时，电路实验的模式也由传统型的单调刻板实验发展为开放与自主学习模式。

开放与自主学习模式主要体现为：教学计划内的实验时间开放，实验地点开放，实验元器件开放和实验内容开放；教学计划外的实验全面开放。对于教学计划内的实验，学生可以根据自己选定的时间来完成相应的实验，在完成基本实验后，也可根据兴趣，自己选择完成更加深入的实验内容。

在开放与自主学习的实验教学模式下，教师由指导变为引导，由讲授变为启发，要求学生自己理解实验内容，独立思考并解决问题，这有助于培养学生的独立分析和解决问题的能力，也促进了师生之间、学生之间的互动交流。

开放与自主学习的实验教学模式以学生为本，给予学生最大的自由空间，有助于学生的个性化学习和发展，有利于培养创新能力强的高素质人才，为拔尖人才在“开放式”的基础上向“研究性”过渡提供了台阶和支持。此外，开放的实验教学还可以最大限度地利用有限而宝贵的实验室资源。

学生的实验动手意识、创新能力和实际工作能力的培养，并不能一蹴而就。作为专业基础实践课程的入门台阶，电路实验教学首先要注重训练学生的基本实验技能，要求学生熟练使用基本的实验仪器，掌握基础的实验方法。其次电路实验要实现多层次、多类型的实验教学内容授课，引导学生在具备扎实的基本功之后，发挥能动性和创造性。多层次、多类型的实验实验内容包括：

1. 基本实验项目型实验

基本实验项目型实验要求学生一次实验课时间内完成一个给定的实验项目。这种类型的实验面向各专业大多数学生开出。

基本实验项目型实验教学内容分3个层次:

基础型实验:内容为教学内容中基本电路定理的验证、电路参数的测量、基本电子器件的应用等,旨在培养学生对电路的安装、测试能力,加深对基本理论的理解。

综合型实验:内容为采用积木式、模块化结构,将各单元电路组合为具有一定实用性的小系统。目的是培养学生加强对个单元电路的理解,以及综合运用能力。

设计型实验:内容为对于一些给定功能单元电路设计,目的是培养学生设计、装调与测试一般功能电子电路的能力。

2. 自主设计型实验

自主设计型实验的目的是要求学生自主构思、策划、安排、完成、总结一个科学实验的全过程。自主设计型实验对学生能力的培养主要体现在以下几个方面:①完成自主设计型实验的过程与进行小型科学研究项目的过程类似,这种培养方式给学生创造了一个实践自己想法的机会,每个学生都有较大的独立思考空间,有利于培养学生研究型思维和自主、主动获取知识的能力。更体现出对学生的独立人格、开拓精神和创新能力培养的高度重视;②通过自主设计型实验可以培养学生的系统观念、工程观念和解决实际问题的能力,包括实际动手进行科学研究工作的能力,例如查阅文献资料的能力,根据要求设计实验的能力,在实践中发现问题、分析问题、解决问题的能力等;③通过实验总结、交流,撰写实验报告,培养实验研究的总结、表达能力。

1.2 基本实验项目型实验的教学过程和要求

一个完整基本实验项目型实验教学过程包括实验预习、实验的观察和测试、实验结果分析整理、撰写实验报告、实验考试5个阶段,各个阶段相应要求如下:

1. 实验预习

为了避免盲目性,使实验过程有条不紊地进行,学生来实验室做实验之前,要对实验目的内容进行实验预习,具体要做好以下几方面的实验准备:

1) 明确实验题目与实验目的:实验题目是对实验内容的高度概括,统领实验全过程。实验目的是依据不同的实验内容,提出所要达到的目标。

2) 掌握实验原理和实验内容:按照实验教程中预习要求的提示,复习相关的电路理论知识,掌握本次实验中所用仪器设备的工作原理及使用方法。根据实验任务要求,选择实验方案,拟好实验步骤,对实验中应记录的原始数据和待观察的波形列表待用。必要时对预期的实验结果进行理论分析与计算,或进行计算机仿真,以便在实验中及时发现与纠正错误,为顺利进行实验做好准备。

3) 理解实验中的提示与注意事项:实验中的提示一般是对实验难点的解释,或是对实验方法的补充说明,也可能是对实验技能的扩展。注意事项是电路实验中特别强调的操作规程,一定要高度重视并必须严格遵守,否则会造成实验失败甚至会发生实验事故,严重的会威胁人身安全。

4) 弄清实验思考题: 思考题一般是对实验过程中应注意的操作重点、出现的实验现象及相关知识的扩展所提出的问题。在预习时应仔细阅读这些题目, 对操作重点应引起足够的重视, 对所叙述的实验现象及扩展的问题寻找理论依据与答案。

5) 撰写预习报告: 实验能否顺利进行并取得预期的效果, 在很大程度上取决于课前预习准备得是否充分。而撰写预习报告的过程, 既是检查预习结果的过程, 也是实验前的准备过程。因此预习报告要写得具体、完整, 实际操作时可按照预习报告的实验方案及操作步骤进行。

总之, 实验前做到充分的预习, 对实验操作能够起到事半功倍的作用。

2. 实验的观察和测试

实验是为了通过测量得到一系列物理量的结果, 而这些结果往往是用实验数据来反映的。实验数据应包括两个要素——数值和单位, 并符合所要求的可靠性。实验数据的数、单位, 即“量”, 可以用各种仪器、仪表直接或间接地进行测量, 而实验数据的可靠程度取决于实验方案的优劣, 仪器、仪表的精度、实验者的实验技术水平等多种因素。实验的观察和测试工作根据具体实验任务不同而异, 这一阶段的共同问题如下:

(1) 实验元器件

电路实验操作中首先遇到的是实验器件。电路实验涉及的元器件有: 电阻器(其中二极管作为非线性电阻器来研究)、电感器(包括自感电感器和互感电感器)、电容器及运算放大器等。实际器件不同于理想元件, 对它的描述除了标称值外, 还有精度、额定功率、材质等, 这些都需要在实验中了解与掌握。如对于色环电阻器, 应了解其阻值与精度的表示方法; 更进一步, 还要了解制作该器件的材质, 进而清楚该器件的温度系数。对于实际电感器, 除其具有电感、内阻与精度外, 还有额定功率的表示方法(电感器的额定功率是用电感线圈的额定电流来表示)。而电容器的参数, 除了电容量与精度外, 同样有额定功率与材质问题。制作的材质不同, 其特性(如温度系数)与用途也完全不同。实验测试前应检查实验所需的元器件是否符合实验要求。

(2) 电子仪器与电工仪表

电路实验常用的电子仪器有直流稳压电源、直流稳流电源、信号发生器、示波器、交流电压表(又称交流毫伏表或晶体管毫伏表)、三相电能及功率质量分析仪等。

电路实验常用的电工仪表有交、直流电流表、功率表等。电工仪表使用时, 应注意其频率范围, 一般用来测量频率在 $0 \sim 50\text{Hz}$ 范围内的电流、电压和功率等物理量。实验测试前要了解仪器仪表的性能、工作原理、电子仪器与电工仪表的区别, 避免实验中用错或损坏仪器设备。

(3) 连接实验电路

正确连接实验电路是实验顺利进行并取得成功的第一步, 要求学生注意培养正确、良好的操作习惯, 并逐步积累实践经验, 不断提高实验操作水平。连接电路时需要注意以下3方面的问题。

实验设备的摆放。实验用电源、负载、测量仪器等设备应摆放合理。遵循的原则为实验设备摆放后使得电路布局合理、连接简单(连接线短且用量少), 便于进行调整和读取数据等操作, 设备的位置与各设备间的距离及跨接线长短应对实验结果的影响尽量小; 对于信号频率较高的实验内容还应注意干扰与屏蔽等问题。

连线顺序。连线的顺序视电路的复杂程度和个人技术熟练程度而定。一般来说,应按电路图一一对应接线。对于复杂电路,应先连接最外面的串联回路,然后连接并联支路(先串联后并联)。对含有集成器件的电路,应以集成器件为中心,按节点连线。同时要考虑元器件及仪器仪表的极性,考虑参考方向及公共参考点等与电路图的对应位置。

为确保电路各部分接触良好,每个连接点不要多于两根导线。导线与接线柱的连接松紧要适度;避免因用力过度而损坏接线柱螺纹,使其无法拆卸;连接过松又会因牵动一线而引起端钮松动、接触不良或导线脱落等现象的发生。

连线检查。对照电路图,由左至右或由电路图上有明显标志处(如电源的“+”端)开始,以每一节点上的连线数量为依据,检查实验线路对应的导线数,不能漏掉图中任何一根连线。图物对照,以图校物。对初学者来说,电路连接检查是比较困难的一项工作,它既是电路连接的再次实践,又是建立电路原理图与实物之间内在联系的训练与转化过程。对连接好的电路做细致检查,是保证实验顺利进行及防止事故发生的重要措施;同时要通过电路的检查工作来进一步锻炼自己,学会电路原理图这种“语言”的应用,提高对实际电路的认知能力。

(4) 数据的读取与记录

实验数据包括原始数据和经分析整理及计算后的数据。实验测试阶段需要记录的是实验的原始数据。实验数据记录要确切,有效数字要完整,单位不能遗忘。

具体操作中应注意,接通电源后进行一次“粗测”,观察实验数据的变化与分布规律及结果是否合理。依据具体情况做必要的调整后,再进行正式的实验操作和数据的记录工作。在测量数据时,要做到读数姿势正确,思想集中,防止误读,指针式仪表应看清楚指示的刻度,使针、影重叠成一条线;将数据记录在事先准备好的表格中。记录数据的多少可根据其变化的快慢而定,变化较快或剧烈处可多取一些数据,以保证数据能够全面记录实验对象的变化规律。有效数字的取舍应根据实验数据的数量级与仪表的量程、表盘的刻度等实际情况综合考虑。

记录数据的同时要记录测量该数据时所用仪器的量程,因改变仪器量程其指示值的误差也会改变,对电路的影响也随量程的改变而改变。对于多次实验中测量的原始数据,即使是某些偶然现象,也不要当场取舍,要一一记录在案,利于事后分析。

学生要自觉地提高对实验数据的观察力,提高对各种实验现象的敏感性。在实验过程中,应尽可能及时地对数据做初步的分析,以便及时发现问题,当场采取必要措施,提高实验质量。

测试完毕后,应认真检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,在保证所记录的数据合理可信或经教师检查签字后,方可拆除电路,整理实验台,将实验装置及仪器设备等摆放在指定位置。

(5) 安全问题

实验的安全问题是学生必须注意的事项。安全包括人身与设备两方面。周密地计划、正确地操作,对设备和实验的深刻理解,以及学生的严肃认真的实验作风,均会提高实验的安全性。

需要注意,具体操作实验时,要养成正确的通电和断电习惯。在接通电源前,要保证“源”特别是带有功率输出信号源的输出幅度为零。接通电源后,逐渐增大电压或电流的幅

度；同时注意观察各仪表的显示是否正常、量程是否合适，负载工作状况是否正常，电路有无异常现象，如响声、冒烟、异味等。若有异常情况应立即切断电源并保护现场，仔细检查事故发生的原因。严禁带电操作，不超越使用条件使用仪器设备。实验操作中需拆除或改接电路时，必须首先切断电源，再进行拆、改工作。这些都是实验得以安全进行的重要措施。

3. 实验结果分析整理

这一过程是依据实验记录进行分析。应先对实验数据和现象进行去伪存真的处理，确定数据的准确程度和取值范围，然后再进行分析。

实验数据处理要充分发挥曲线和图表的作用，并根据原始数据实事求是来填写。所有的数据都是有误差的，而误差的大小又决定了实验结果的可靠程度。误差计算与分析要细致并切合实际，不能简单地用“仪表误差”、“视觉误差”、“接触电阻”等笼统语言来分析误差原因。若确实因“仪表”及“视觉”等误差影响了实验结果的精度，也应根据仪表的等级、刻度盘的分格等计算出误差值，用翔实的数据来佐证结论的正确性。

4. 撰写实验报告

实验结果分析整理后要形成实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映，也是实验课的继续和提高。它可以加深对实验现象和内容的理解，更好地将理论与实际结合起来，同时也是提高实验综合能力和表达能力的重要环节。

实验报告的内容一般应包括：

- 1) 实验环境和条件：实验日期、实验节次、实验台号等。
- 2) 实验名称、实验目的。
- 3) 实验原理、实验电路图、测试方法和实验用仪器设备的规格型号。
- 4) 整理实验数据，列出数据表格或绘制测试曲线、波形。
- 5) 结果分析及问题讨论。
- 6) 回答思考题。

实验报告要内容完整，层次分明，简明扼要，图表、曲线要符合规范。

5. 实验操作考试

在完成实验操作任务后，还要参加实验操作考试，即在规定时间内完成规定的实验任务。实验操作考试采取多段式、多方位实验考核方式。多段式是指总的实验考核成绩来自于整门课程进行中的各个阶段成绩；多方位是指每个阶段的成绩来自实验过程中的多个方面。

实验操作评分标准：

- 1) 实验项目原理理解与电路原理图设计。
- 2) 实际电路连接是否正确。
- 3) 能否正确的使用电子仪器仪表。
- 4) 实验电路调试及实验结果是否正确。
- 5) 实验数据记录与整理。

期末实验操作考试评分标准：

- 1) 学生对理论内容的理解与应用能力。
- 2) 仪器设备的熟练使用能力。
- 3) 实验操作的动手能力。
- 4) 实验数据处理与整理能力。

5) 综合设计与创新能力。

根据每个实验项目和考试题目的重点要求不同,各项指标分值会相应变化。

1.3 自主设计型实验的教学过程和要求

自主设计型实验并不要求实验内容多么复杂、多么具有创新性,它可以是对应理论课中的某一个特定章节的内容,也可以是几个章节内容的综合,但核心是这个实验必须是同学自己“想”出来并完成的。实验内容不得与实验教材已有的实验内容雷同,同学之间严禁互相抄袭。学生可以在规定实验周期内,自由选择时间完成该实验内容并撰写实验报告。

自主设计型实验除要达到基本实验项目型实验的要求外,实验操作过程一般要求完成以下工作。

1. 查阅相关资料确定实验目的和内容

实验内容的选择范围以不超出理论课教材范围为准。实验内容可以为一个综合性的实验内容,也可以围绕一个主题内容的几个小的实验项目,或者是针对某实验设备的功能开发与应用的实验项目。

2. 根据选定的实验内容确定总体设计方案或技术路线

实验方案并不是唯一的,受很多因素的影响,即使在相同的条件下也可能有多种可行的方案,有时为了比较,一个实验可能采用多个方案。制订实验方案的基本原则是用最少的人力和物力、最快的速度获得符合准确度要求的实验结果。

3. 选择实验元器件和仪器设备

实验元器件和仪器设备的选择应注意:

- 1) 元器件的标称值、工作条件与电路模型。
- 2) 仪表量程和内阻。
- 3) 实验条件和实验的准确度。

4. 进行理论分析或仿真分析

实验前若能对实验电路的工作原理与特性进行理论分析,得出一个预期的结果,将减轻实验的工作量。另外,利用计算机对可行方案进行仿真,可以预知实验结果,特别是较为复杂的实验电路,仿真计算更便于掌握和调整参数和实验条件。

5. 对可能出现的问题做出预期及对策

对实验过程中可能出现的故障,可能产生的后果,发生时的补救措施,能够预料的,都应给予说明。防止故障发生时措手不及。当然,在实验操作中还会存在无法预料的情况,就要求学生在实验过程中提高自己的应变能力和观察能力,随时进行记录和分析,这会使我们获得比实验本身更大的收获。

6. 确定具体的实验步骤及方法

实验步骤及方法思路要清晰,可操作性要强,应标明操作顺序和实验数据的观察、记录。实验步骤不明确,操作混乱,会造成实验结果的错误,数据的漏测。

7. 实验测试和实验数据的分析整理

根据实验内容搭建电路;调整电路参数,发现和排除故障;完整记录测量数据及相关信息。

实验测试的数据只有经过数据分析处理才能得到直观的表述和说明其实质的结果,才能进一步给出相关的结论。实验数据的分析涉及测量结果的表示和其他相关物理量的计算,实验数据的处理包括曲线的绘制和拟合。

8. 撰写并提交实验报告

撰写论文和技术报告是工科学生的技能之一。自主设计型实验的实验报告要求是论文式实验报告,并按照固定的标准格式进行规范,报告中还包括参考文献、本次实验的收获体会及对实验室的建议等。这种报告形式可以改变学生科技写作能力薄弱的状况,为未来的科学研究之路架起便捷的桥梁。

9. 实验成绩综合评定

自主设计型实验成绩,采用的是全新的综合评定方式。既要考虑学生选择实验项目的难易程度,又要结合其实验过程中所学到的知识和所体现的实验基本技能,同时还要考虑实验报告的撰写情况。

实验设计、实验操作部分的分数 S_D 可由下述公式计算得出。

$$S_D = T_p K_s K_c K_t$$

式中 T_p ——指导教师对所设计的硬件电路进行检查验收给出的操作分数;

K_s ——设计雷同系数;

K_c ——实验复杂系数;

K_t ——实验报告提交时间系数。

设计雷同系数 K_s : 由于自主设计实验题目的多样性和发散性,为了避免出现实验内容雷同,要求实验内容不得与实验教材已有的实验内容雷同,同学之间严禁互相抄袭。如果实验设计内容与其他同学的设计无任何相似之处,则设计雷同系数为 1; 如果有 N 个同学设计实验内容雷同,则该系数为 $1/N$ 。

实验复杂系数 K_c : 为了避免自主设计实验题目过于简单,设置了实验复杂系数 K_c 。如果按照所设计的实验步骤完成该实验内容,需时 T (min) (包括连接电路、调试、记录并整理实验数据、整理实验台), 则该系数为 $T/60$; 超过 1h 则该系数为 1 (需时 T 由老师判断,而非实际操作时间)。

实验报告提交时间系数 K_t : 为了避免出现同学在期末同一时间段完成自主设计型实验,形成实验室拥堵情况发生,在自主设计实验评分标准中设置实验报告提交时间系数 K_t , 在不同时间段提交实验报告的系数不同。

实验设计、实验操作分数和实验报告分数之和是自主设计实验的总成绩。

1.4 供电和安全用电

1.4.1 安全用电

触电是指人体触及带电体后,电流对人体造成的伤害。人体对流经肌体的电流所产生的感觉,随电流的大小而不同,伤害程度也不同。所谓安全电压 36V, 是对人体皮肤干燥而言的,潮湿、容易导电的地方,12V 为安全电压。电击强度 $50\text{mA} \cdot \text{s}$ 为安全值。实验室中人体触电类型有以下几种:

1) 单相触电: 人体直接接触动力电的火线或线路中的某一相导体时, 人体承受相电压。

2) 双相触电: 人体同时接触动力电的两根相线, 电流从一相导体通过人体流入另一相导体从而发生触电。这种触电一般的保护措施都不起作用, 因而危害极大。

3) 间接触电: 是指电气设备已经断开电源, 但由于设备中高压大电容量电容的存在而导致的触电。这类触电容易被忽视, 要特别注意。

为防止触电事故的发生, 应采取保护措施。一般采用接地保护和漏电保护装置。

1. 保护接地和保护接零

电气设备接地的形式有两种: 一种是经各自的 PE 线(接地线)分别直接接地, 即保护接地; 另一种是设备的外露可导电部分经公共的 PE 线或 PEN 线(中性线、接地线)接地, 也称保护接零。根据接地保护形式的不同, 低压配电系统可分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

(1) TN 系统

把变压器低压侧中性点直接接地。再从接地点引出中性线 N (俗称零线)。系统中, 所有用电设备的金属外壳、构架均采用保护接零方式。TN 系统又分为 TN-C 系统, 如图 1.1 所示; TN-S 系统, 如图 1.2 所示; TN-C-S 系统, 如图 1.3 所示。

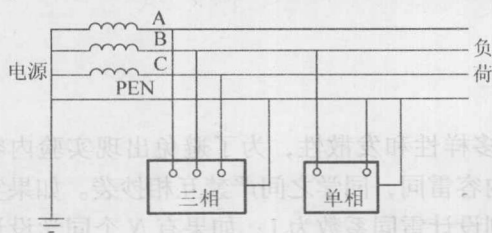


图 1.1 TN-C 系统

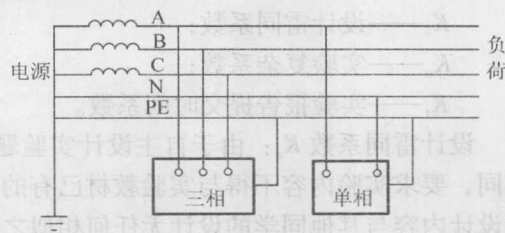


图 1.2 TN-S 系统

在 TN 低压供电系统中, 当电气设备发生漏电、绝缘损坏或单相电源与设备外壳、构架短路时, 零线短路的较大故障电流, 可使线路上的保护装置动作, 切断故障线路的供电, 保护人身安全。

(2) TT 系统

把变压器低压侧中性点直接接地, 再从接地点引出中性线 N。系统中, 所有用电设备的金属外壳、构架均采用保护接地方式。

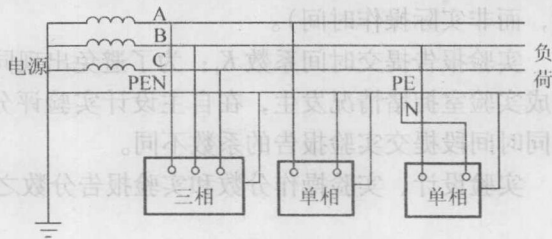


图 1.3 TN-C-S 系统

(3) IT 系统

变压器低压侧中性点不接地或经高阻抗接地。系统中, 所有用电设备的金属外壳、构架均采用保护接地方式。

在 TT、IT 低压供电系统中, 当电气设备发生漏电或单相电源对设备外壳短路时, 如果流向接地体的故障电流足够大, 线路上保护装置动作, 切断故障线路上的供电; 假如流向接地体的故障电流不足以使保护装置动作时, 由于人体电阻远大于保护接地的电阻, 所以, 可以避免接触人员的触电危险。

在同一供电系统, 不准存在保护接零和保护接地混用的现象。

从变压器低压侧中性接地点引出的中性线 N 的作用是：可供系统内单相用电设备用电；把系统内三相电源中的不平衡电源和单相用电电流，流回变压器低压侧中性点；减小因三相用电负荷的不平衡而造成的电压偏移。

通常实验室的配电盘（柜）到实验台电源配线，如图 1.4 所示。为使三相负载尽可能达到平衡，实验台的各电源插座被引到了不同的相线（A、B、C）上。

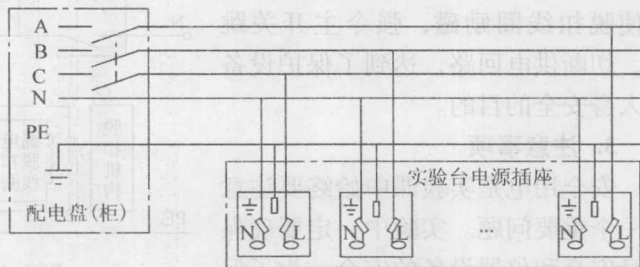


图 1.4 实验台电源配线

按照电工操作规程，两芯插座与动力电的连接要求是左孔接零线（N），右孔接相（火）线（L）。三

芯插座除了按左“零”右“相”连接之外，中间孔接地线（PE），即“左零右相中间地”。因此实验室的供电系统也称为“三相五线制”，此系统中 PE 线与零线 N 始终是分开的，平时 PE 线上无电流通过，只有在设备发生漏电或单相电源对设备金属外壳短路时，才会有故障电流流过，使用电系统的可靠性、安全性、电磁抗干扰性方面得到了进一步的提高。

2. 漏电保护器工作原理及组成

漏电保护器是一种在负载端相线与地线之间发生漏电或人体发生单相触电事故时，能自动在瞬间断开电路，对电气设备和人身安全起到保护作用的电器。

如图 1.5 所示，在三相五线制中，接入实验室的零线作为电源线之一，同相线一样对地绝缘，并通过漏电保护器接至用电设备。用电设备金属外壳通过三孔插座的接地孔与保护地线相连接。若相线与机壳短路等漏电情况发生后，则在短路处相线与保护地线构成电流闭合回路，见图 1.5。这时回路阻抗很小，短路电流很大，为

$$I_k = \frac{U}{Z_d}$$

式中 I_k ——相线与机壳短路电流（A）；

U ——相电压（V）；

Z_d ——零线阻抗与接地电阻之和（ Ω ）。

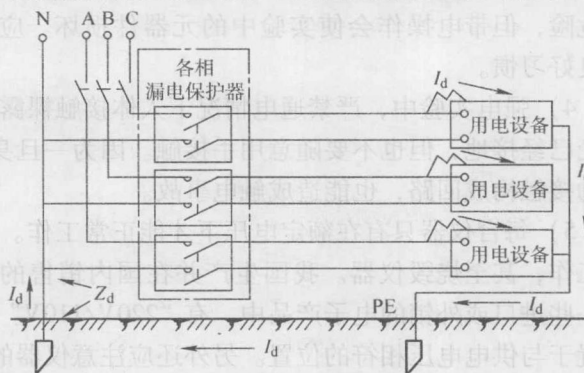


图 1.5 发生漏电后电流闭合回路示意图

I_k 可使漏电保护器的保护开关跳闸，切断电源回路，达到安全保护的目的。

漏电保护器主要由零序电流互感器、信号放大器、漏电脱扣线圈、脱扣机构、主控开关及测试按钮等部分组成，见图 1.6。漏电保护器是根据基尔霍夫电流定律：任一时刻流入（或流出）任一节点的支路电流代数和等于 0 的原理而设计的。负载的相线与零线均穿入零序电流互感器中。正常工作时，相线与零线电流的代数和等于 0，在互感器铁心中感应的磁通量之和也为 0。零序电流互感器的二次绕组（脱扣线圈）无信号输出，主控开关处于闭合状态，电源向用电设备供电。一旦设备发生接地故障，如设备绝缘损坏造成漏电，或相线碰到机壳，或未与大地处于绝缘状态的人触及到相线，这时将有一部分电流（即 I_k ）从保护

地线中流过。此时回路中电流的代数和不再为 0，通过相线的电流大于通过零线的电流，两者之差在零序电流互感器的铁心中产生磁通，使二次绕组产生感应电压，迫使脱扣线圈励磁，强令主开关跳闸，切断供电回路，达到了保护设备或人身安全的目的。

3. 注意事项

安全用电是实验课中始终要注意的一个重要问题。实验中一定要确保人身安全和仪器设备的安全。为了保证安全用电，防止触电事故的发生，实验中应该注意以下几点：

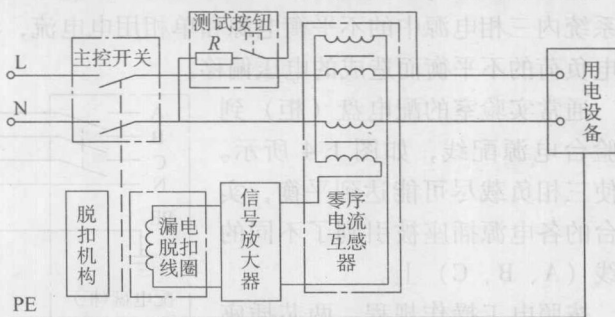


图 1.6 漏电保护器的组成示意图

1) 识别相线和零线，最简单的办法是用验电笔来测试。试电笔是由金属探头、氖灯泡、电阻（其阻值大于 $1\text{M}\Omega$ ）、尾部金属等组成。使用时只要将手指与笔的尾部金属接触，将金属探头放到电源插孔里即可。这时电源从金属探头、氖灯泡、电阻、尾部金属及人体到大地构成回路。若是相线，氖灯泡发光；若是零线，氖管不发光。

2) 检查所用仪器电源线有无破损。使用电烙铁进行焊接时，应将电烙铁远离所有电源线等物体，避免烧坏绝缘皮层造成漏电伤人以及引起火灾等事故的发生。

3) 实验操作时，严格按照用电安全规则操作。接线与改线或拆线都必须切断电源。这不仅是对使用动力电时的要求，对于 36V 以下的弱电实验也应如此。因为虽然此时对人身无危险，但带电操作会使实验中的元器件损坏。应养成“先接线后通电，先断电后拆线”的良好习惯。

4) 强电实验中，严禁通电情况下人体接触裸露的金属部分及仪器的外壳。虽然仪器的外壳已经接地，但也不要随意用手接触。因为一旦身体其他部位意外触及相线，通过手与机壳的接触构成回路，也能造成触电事故。

5) 每台仪器只有在额定电压下才能正常工作。当电压过高或过低时都会影响仪器的正常工作，甚至烧毁仪器。我国生产并在国内销售的电子仪器多采用交流 $220\text{V}/50\text{Hz}$ 供电，在一些进口或外销的电子产品中，有“ $220\text{V}/110\text{V}$ ”的电源选择开关，通电前一定要将此开关置于与供电电压相符的位置。另外还应注意仪器的用电性质，是交流电还是直流电，不能用错。若用直流供电，除电压幅度满足要求外，还要注意电源的正、负极性。

1.4.2 电子仪器的接口与供电

电子仪器中的电子元件只有在稳定的直流电压下才能正常工作。直流电压通常是将交流 $220\text{V}/50\text{Hz}$ 经变压器降压后，再通过整流、滤波及稳压而得到。交流 $220\text{V}/50\text{Hz}$ 一般由三芯电源线引入电子仪器，如图 1.7 所示。三芯电源插头的中间插针与仪器的金属外壳连接在一起，其他两针分别与变压器一次绕组的两端相连。这样当电源插头接到实验台的三芯插座上后，仪器的外壳就与保护地线连接在一起，变压器一次绕组也连接到了相线和零线上。

根据电子仪器的功能不同，有向外输出电能的，如电源和信号源等；有吸收电能的，如示波器、交流电压表等。无论是输入还是输出电能，其对外接口大多采用接线柱或连接器

(普通仪器多用 BNC 插座) 形式。直流稳压电源一般用 3 种不同颜色 (红、黑、蓝等) 的接线柱输出, 通常红色为电源正极, 黑色为电源负极, 蓝色或绿色 (或棕色) 为保护地线。在这些接线柱附近分别标有 “+”、“-” 及接地符号 “ $\perp$ ”。交流信号源通常用红、黑两接线柱输出, 红色为信号输出端, 标有 “+”, 黑色与仪器外壳直接连接, 标有 “ $\perp$ ”。而用连接器对外接口时, 通常将插座的外导体 (外层金属部分) 直接固定在仪器的金属外壳上, 作为信号的参考电位端; 插座的内导体 (中心线) 接信号的另一端——信号的输出或输入端, 并与外导体绝缘。

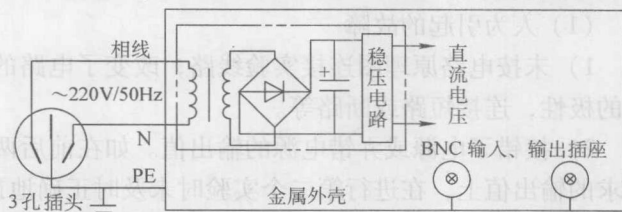


图 1.7 电子仪器电源引入及
保护地接金属外壳示意图

实验室使用的连接器的导线多为同轴电缆线。电缆线的内导体一端接 BNC 插头的中心端, 另一端接一红色线夹; 电缆线的外导体 (网状屏蔽线) 一端接 BNC 插头的金属外壳, 另一端接一黑色线夹。将 BNC 插头与插座连接后, 红色线夹与插座中心线连接, 黑色线夹与仪器外壳连接。由此可见, 实验室的测量系统是以 PE 为参考点的测量系统。如果不以 PE 为参考点, 则须将仪器改为两芯电源插头, 或者将三芯电源线的接地线断开, 否则就要采用隔离技术。

当测量仪器的金属外壳均与信号源的金属外壳相连接时, 称为“共地”——电路系统拥有一个共同的地。共地系统有两种组合方式: 一种是将所有仪器的金属外壳均与 PE 相连; 另一种是所有仪器的金属外壳连接在一起, 但与 PE 断开。例如将所用仪器均接入多功能排插座上, 但多功能排插座的电源插头为两芯, 这样各仪器的外壳通过多功能排插座的中间孔连接起来, 即实现了脱离地线的局部“共地”。这时各仪器外壳是连接在一起的, 但与地线是断开的。

当测量仪器或信号源使用两芯电源线时, 不能组成共地系统, 这种情况称为悬浮地, 简称浮地。当电压测量仪器处于悬浮地状态时, 可以测量任意支路的电压; 而在共地情况下, 只能测量各点相对于地的电位, 通过计算两点的电位差来得到支路电压。

值得注意的是, 对于同一台仪器, 如果没有浮地功能, 其所有 BNC 插座的金属外壳都是连接在一起的, 如双踪示波器的两输入端口。因此所有黑色线夹只能接在同一参考点, 或者一个接在参考点上, 其余处于悬空状态。测量高频信号时建议采用前者, 悬空的线夹容易引入干扰。

1.5 电路实验常见故障及其检测

在实验操作过程中, 不可避免地会出现各种各样的故障现象, 检查和排除故障是学生必备的实验技能。

1. 常见故障及产生的原因

实验故障根据其严重性一般可分两大类: 破坏性和非破坏性故障。破坏性故障可造成仪器仪表、元器件等损坏。非破坏性故障的现象是电路中电压或电流的数值不正常或信号波形