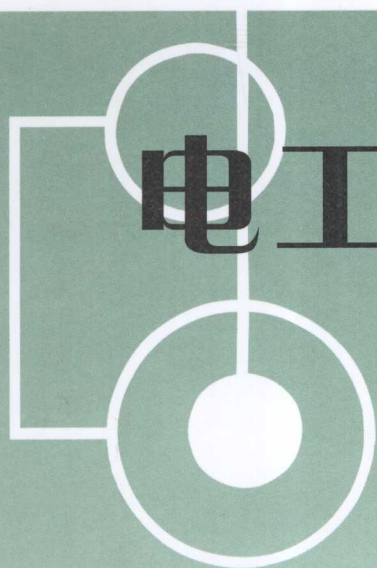
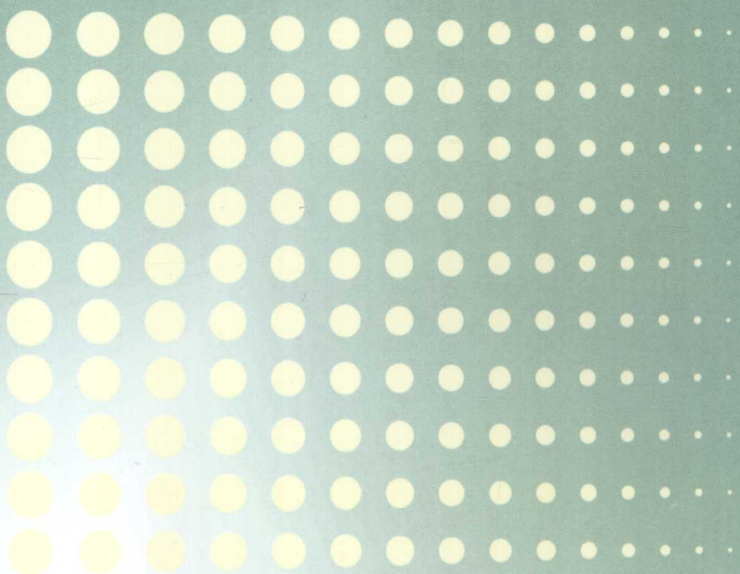




普通高等教育“十二五”规划教材



# 电工测量与 实验技术



吉培荣 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十二五”规划教材

# 电工测量与实验技术

吉培荣 主 编  
李 宁 胡 芳 参 编

Tm93

J110

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书按照《电工电气基础课程教学基本要求》编写而成。书中介绍了电工测量与实验的基础知识,包含33个实验项目,其中既有验证性实验,也有设计性实验。实验内容覆盖了电路、模拟电子、数字电子三个方面。本书既可作为高等学校“电路”、“电子技术”、“电工学”等课程的实验教材,也可供有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工测量与实验技术/吉培荣 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2012. 2  
ISBN 978-7-5609-7594-8

I. 电… II. 吉… III. 电气测量-高等学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 271233 号

电工测量与实验技术

吉培荣 主编

策划编辑: 谢燕群

责任编辑: 熊 慧

封面设计: 阮志翔

责任校对: 周 娟

责任监印: 张正林

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉市兴明图文信息有限公司

印 刷: 湖北通山金地印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 363 千字

版 次: 2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 25.80 元



华中科大

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

实验教学是高等院校工科各专业的基本教学之一,是帮助学生巩固、消化基本理论和获得实验技能、掌握科学研究方法的重要环节。

《电工测量与实验技术》是配合“电路”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电工学”等课程教学而编写的基础实验教材。本书从教学实际出发,力求由浅入深、循序渐进、有针对性地进行电路与电子方面的基本技能训练。通过开展相关实验,学生可在电工电子仪器、仪表的使用,电路的设计、组成,电工电子测试方法,实验数据处理等方面得到相应训练。

本书按照教育部电子电气基础课程教学指导委员会制定的《电子电气基础课程教学基本要求》,结合我校近年来实验教学改革的经验编写而成。全书共分为16章,包括33个实验,其中既有验证性实验,也有设计性实验。第1章为绪论;第2章为实验的基础知识;第3章为测量技术及数据处理;第4章为常用电工仪表的测量机构;第5章为直流电压、电流的测量;第6章为工频电压、电流的测量;第7章为功率及电能的测量;第8章为电路动态特性观测;第9章为高频电压、电流的测量;第10章为电路设计性实验;第11章为晶体管及其应用;第12章为集成运放的基本应用;第13章为集成稳压器及其应用;第14章为逻辑门与组合逻辑电路的测试和应用;第15章为触发器和时序逻辑电路;第16章为脉冲信号产生电路。

吉培荣担任本书主编,李宁、胡芳参加了本书编写工作。吉培荣负责全书章节的设计和全书统稿,并编写了第1、2、3、10章和第5、6、7、8、9章中的实验内容;李宁编写了第4章和第5、6、7、8、9章中的仪器、仪表内容;胡芳编写了第11、12、13、14、15、16章的内容。此外,黄南山、刘纯天曾参加过本书初稿(原实验讲义)中第11、12、13、14、15、16章的编写工作,徐华东参加了书中部分实验的开发工作,特此致谢!

限于编者水平,书中难免存在一些不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2011年11月

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第 1 章 绪论 .....           | (1)  |
| 1.1 实验与测量及其定义 .....      | (1)  |
| 1.2 电工测量的内容和特点 .....     | (1)  |
| 1.3 本课程的任务和要求 .....      | (2)  |
| 第 2 章 实验基础知识 .....       | (4)  |
| 2.1 实验的一般过程 .....        | (4)  |
| 2.2 设备和元器件的选择与使用 .....   | (6)  |
| 2.3 电路的正确连接 .....        | (8)  |
| 2.4 实验故障及故障查寻 .....      | (9)  |
| 2.5 实验安全知识 .....         | (11) |
| 第 3 章 测量技术及数据处理 .....    | (15) |
| 3.1 测量方法及测量设备 .....      | (15) |
| 3.2 仪表的误差、准确度及修正值 .....  | (17) |
| 3.3 测量误差及消除方法 .....      | (21) |
| 3.4 测量误差的估计 .....        | (25) |
| 3.5 测量数据处理 .....         | (28) |
| 第 4 章 常用电工仪表的测量机构 .....  | (36) |
| 4.1 测量机构的作用和性能 .....     | (36) |
| 4.2 测量机构的一般部件 .....      | (38) |
| 4.3 磁电系测量机构 .....        | (41) |
| 4.4 电磁系测量机构 .....        | (44) |
| 4.5 电动系测量机构 .....        | (48) |
| 4.6 铁磁电动系测量机构 .....      | (50) |
| 4.7 静电系测量机构 .....        | (51) |
| 4.8 常用测量机构的主要特性及应用 ..... | (52) |
| 4.9 电工仪表的分类、标志和型号 .....  | (53) |
| 第 5 章 直流电压、电流的测量 .....   | (55) |
| 5.1 电流和电压的测量 .....       | (55) |
| 5.2 磁电系电流表、电压表 .....     | (56) |
| 5.3 万用表 .....            | (58) |
| 5.4 数字万用表 .....          | (62) |
| 5.5 直流稳压电源 .....         | (64) |
| 实验 1 仪表内阻对测量的影响 .....    | (65) |



|                                           |       |
|-------------------------------------------|-------|
| 实验 2 电路元件伏安特性的测定 .....                    | (67)  |
| 实验 3 叠加定理 .....                           | (70)  |
| 实验 4 戴维南定理 .....                          | (72)  |
| 第 6 章 工频电压、电流的测量 .....                    | (74)  |
| 6.1 电磁系电流表和电压表 .....                      | (74)  |
| 6.2 电动系电流表和电压表 .....                      | (75)  |
| 6.3 仪用互感器 .....                           | (77)  |
| 6.4 调压器 .....                             | (80)  |
| 实验 5 日光灯电路 .....                          | (81)  |
| 实验 6 三相电流、电压测量 .....                      | (83)  |
| 第 7 章 功率及电能的测量 .....                      | (86)  |
| 7.1 电动系功率表 .....                          | (86)  |
| 7.2 低功率因数功率表 .....                        | (88)  |
| 7.3 三相有功功率表 .....                         | (89)  |
| 7.4 电能的测量 .....                           | (90)  |
| 实验 7 功率因数的提高 .....                        | (93)  |
| 实验 8 线圈参数——电阻、电感及互感的测量 .....              | (95)  |
| 实验 9 三相功率的测量 .....                        | (97)  |
| 第 8 章 电路动态特性观测 .....                      | (100) |
| 8.1 信号发生器 .....                           | (100) |
| 8.2 EE1641B/2B/3B 型函数信号发生器/计数器 .....      | (101) |
| 8.3 示波器及测量技术 .....                        | (104) |
| 实验 10 一阶电路 .....                          | (112) |
| 实验 11 二阶电路 .....                          | (114) |
| 第 9 章 高频电压、电流的测量 .....                    | (117) |
| 9.1 SX2290A 型双通道交流电压表 .....               | (117) |
| 9.2 DA-16A 电压表 .....                      | (118) |
| 实验 12 正弦交流电路中 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 元件的特性 ..... | (119) |
| 实验 13 $RLC$ 串联谐振电路 .....                  | (121) |
| 实验 14 均匀传输线仿真线测量 .....                    | (124) |
| 第 10 章 电路设计性实验 .....                      | (127) |
| 10.1 实验设计的基本方法 .....                      | (127) |
| 实验 15 无源双口网络的设计与测量 .....                  | (128) |
| 实验 16 无源滤波器的设计与测量 .....                   | (128) |
| 实验 17 单相电源变三相电源电路的设计与测量 .....             | (129) |
| 实验 18 $RC$ 移相电路的设计与测量 .....               | (130) |
| 第 11 章 晶体管及其应用 .....                      | (132) |
| 11.1 晶体管的测试 .....                         | (132) |

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 11.2 晶体二极管的基本应用 .....                | (136)        |
| 11.3 晶体三极管的基本应用 .....                | (140)        |
| 11.4 场效应管及其基本应用 .....                | (141)        |
| 实验 19 射极偏置共射放大电路 .....               | (143)        |
| 实验 20 阻容耦合负反馈放大电路 .....              | (145)        |
| 实验 21 差动放大器 .....                    | (148)        |
| 实验 22 场效应管放大电路 .....                 | (150)        |
| <b>第 12 章 集成运放的基本应用 .....</b>        | <b>(151)</b> |
| 12.1 集成运放的组成、分类及主要参数 .....           | (151)        |
| 12.2 集成运放的应用特点 .....                 | (153)        |
| 12.3 集成运放的基本应用 .....                 | (157)        |
| 实验 23 集成运放组成的基本运算电路 .....            | (168)        |
| 实验 24 用集成运放构成波形产生电路 .....            | (169)        |
| <b>第 13 章 集成稳压器及其应用 .....</b>        | <b>(171)</b> |
| 13.1 串联调整式线性稳压电源 .....               | (171)        |
| 13.2 集成稳压器及其应用 .....                 | (173)        |
| 实验 25 稳压电源电路参数的测试 .....              | (180)        |
| 实验 26 集成稳压器的应用 .....                 | (182)        |
| <b>第 14 章 逻辑门与组合逻辑电路的测试和应用 .....</b> | <b>(185)</b> |
| 14.1 逻辑门电路的主要参数 .....                | (185)        |
| 14.2 集成逻辑门电路的使用规则 .....              | (187)        |
| 14.3 几种接口电路 .....                    | (188)        |
| 实验 27 TTL 与非门电路的测试实验 .....           | (191)        |
| 实验 28 中规模集成组合逻辑功能件的应用 .....          | (193)        |
| 实验 29 组合逻辑电路综合实验 .....               | (195)        |
| <b>第 15 章 触发器和时序逻辑电路 .....</b>       | <b>(197)</b> |
| 15.1 触发器的分类及使用规则 .....               | (197)        |
| 15.2 用小规模集成电路设计同步时序逻辑电路 .....        | (199)        |
| 15.3 计数、译码、显示电路实验 .....              | (200)        |
| 实验 30 JK 触发器的实验测试 .....              | (205)        |
| 实验 31 同步五进制加法计数器制作及测试实验 .....        | (208)        |
| 实验 32 计数/译码显示电路综合实验 .....            | (210)        |
| <b>第 16 章 脉冲信号产生电路 .....</b>         | <b>(212)</b> |
| 16.1 利用与非门组成脉冲信号产生电路 .....           | (212)        |
| 16.2 集成单稳态触发器及其应用 .....              | (214)        |
| 16.3 集成电路定时器 555/556 及其应用 .....      | (218)        |
| 实验 33 脉冲产生电路 .....                   | (222)        |
| <b>参考文献 .....</b>                    | <b>(225)</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 实验与测量及其定义

科学技术发展中的重要问题之一是科学实验。不论是基础科学的研究还是应用科学的研究,都要进行许多专门的实验。在科学实验中需要进行大量的测量工作。测量是科学实验的支柱,是实验中的基本工作,而实验又是科学的基础。著名科学家门捷列夫用一句话概括了测量对科学的作用,这句话就是“没有测量,就没有科学”。

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。这个过程常借助专门的设备,把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较,取得用数值和单位共同表示的测量结果。广义地说,任何实验科学的结论都是对实验数据推断的结果,而数据的取得就要靠测量。近代自然科学是从有了实验科学之后才真正形成的。许多重大科学成果的获得,首先是因为有了新的实验手段。在科学发展史上,重要的实验数据可以把假说上升为理论,成为验证理论的客观标准。同时,很多实验数据还成为发现新问题、提出新理论的线索和依据。

在工农业生产中,需要大量的仪器、仪表来对生产过程实行在线、实时或定期的检测和监督,以保证生产安全、可靠地进行。生产过程机械化和自动化程度越高,对测量的准确度、速度,以及仪器、仪表的可靠性要求也越高。

可靠、准确的测量手段和统一的单位是国际贸易和国际科学技术交流的共同语言。

可以说,测量已经在科学研究、国民经济的各个部门和日常生活中占有重要地位。世界上每个科学技术和工业生产高度发达的国家都在测量技术的研究,仪器、仪表的制造,保证计量单位的统一和可靠等方面做了大量工作,并且以法律的形式给予必要的保证。

## 1.2 电工测量的内容和特点

狭义的电工测量通常包含下面几个方面的内容:

- (1) 电参量的测量,即电压、电流、电功率、电能量等的测量;
- (2) 元件参数的测量,如电阻、电容、电感、电子器件(电子管、晶体管、场效应管)、集成电路等的测量;
- (3) 电路参数的测量,如电路频率响应、通频带宽度、相位移、衰减和增益的测量;
- (4) 信号的特征及所受干扰的测量,如信号的波形和失真度、频率、相位、信号频谱、信噪比等的测量;
- (5) 磁测量,如磁通、磁场强度、磁导率、铁损等的测量。

广义的电工测量是指利用电工技术、电子技术进行的测量。

一项测量任务完成的整个过程通常包括如下步骤。

(1) 根据测量目的和允许误差要求选取适当的测量方式与方法。

(2) 合理选用仪表、标准量具,制定测量步骤,考虑实施各种预防干扰、消除或减小误差的措施。

(3) 精心测量,以获取可靠的数据。

(4) 进行数据处理,包括运用误差分析测量结果的误差范围。

电工测量技术的特点是:准确度高,目前电工测量的误差可以达到  $10^{-7} \sim 10^{-6}$  数量级;测量速度快;测量范围广,不但所有的电量、磁量和电路、磁参数能用电工测量技术测量,而且很多非电量,如湿度、压力、振动、速度、位移、水位、人的血压、物体的长度、质量、地震波、飞行高度、潜水深度,等等,也都可以先变成与其成函数关系的电磁量或电路参数后再用电工测量的方法测量;测量数值的覆盖面宽,例如,可测量的电阻从  $10^{-7} \Omega$  一直到  $10^{10} \Omega$ ,甚至更广的范围也可用电工测量的方法进行测量;电工测量的灵敏度高,例如,即使小到  $10^{-15} \text{ A}$  的电流都可以用电工测量的方法检测;能比较方便地实现自动测量、自动控制和自动处理实验数据,能够给出数码,易于与计算机配合。

在当今世界中,从人们的日常生活开始,不管是天空、地面、海洋,还是人体内的细胞,到处都有电工测量技术解决测量问题的例子。可见,电工测量技术已经深深地扎根于国民经济和科学技术的各个领域,而且各种不同的测量实践又迅速地推动电工测量技术不断发展。电工测量技术主要包括测量方法、测量仪表设备、测量量的转化与传递三个方面。其中的测量设备的发展最能体现电工测量技术的发展。20 世纪初期,重要的经典电磁测量仪器、仪表已商品化。其中电表多采用指针或光标的偏转实现连续指示。这类电表称为模拟式电表,以区别于 20 世纪 50 年代发展起来的以数字方式显示测量结果的数字式电表。与经典仪器、电表相比,近年来新开发研制出的数字化、微机化测量仪器、电表在显示方式和工作原理等方面都有很大变化,但就测量理论和方法而言,数字测量仍以经典测量为基础。模拟式和数字式仪表都在继续发展,而后者已呈现出取代前者的趋势。

本书作为高等院校电类专业低年级学生所用的教材,仅介绍了一些常用和基本的电工电子测量仪表、设备。

### 1.3 本课程的任务和要求

本课程是一门理论性和实践性都很强的课程,对理论和实践都应予以足够重视。

本课程的主要任务是使学生了解电工测量中最基本的测量原理和测量方法,具备一定的误差分析和测量数据处理的能力;训练学生进行实验的基本技能;培养学生运用基本理论分析、处理实际问题的能力和实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风。

通过该课程的学习,学生在实验技能方面应达到下列要求。

(1) 正确使用电压表、电流表、万用表、功率表及常用的一些电工设备;学会使用示波器、信号发生器、晶体管稳压电源、晶体管毫伏表;了解晶体管特性图示仪和参数测试仪的使用方法。

(2) 掌握基本的测量技术,如测量电压、电流、功率、频率、相位、时间等电路的主要技术指标。

- (3) 具有查阅电子器件手册的能力。
- (4) 能按电路图连接实验线路和合理布线,初步具有分析、寻找和排除常见故障的能力。
- (5) 具有根据实验任务确定实验方案,选择合适元器件设计线路的初步能力,具有选择常用电工仪表、设备进行实验的能力。
- (6) 能独立写出严谨、有理论分析、实事求是、文字通顺的实验报告。

本课程采用课堂讲授、自学、实验相结合的方法进行教学。希望通过该课程的学习,为学生今后进行更高级、更复杂的实验和走向工作岗位后进行大量的实验和测量工作打下一定的基础。

## 第2章 实验基础知识

### 2.1 实验的一般过程

本课程要做一系列的实验,为了达到预期的效果,要求认真完成以下各个阶段的任务。

#### 2.1.1 预习

要高质量地完成实验,很重要的一个环节就是在实验前必须认真预习。要求经过预习,做到心中有数,即要明确“进实验室要做什么,如何做,按理论分析预期有怎样的结果”。本课程的实验分为给定指导书的实验项目和给定任务书的实验项目两类,两类实验的预习要求有所不同。

##### 1. 给定指导书的实验项目

这类实验是在教师指导下进行的项目,已给定完整的实验指导书,学生如能认真地按指导书的要求去做,就能顺利地完成实验,达到预期效果。预习这类实验时要完成以下工作。

(1) 认真阅读指导书,明确实验的目的、要求、要测量的电磁量,阅读有关资料,复习实验原理涉及的有关理论。

(2) 熟悉实验线路、方法、步骤,准备好数据原始记录表格。

(3) 认真思考,解答有关问题,按理论分析预测、估算实验结果。

(4) 牢记实验中应注意的事项。

##### 2. 给定任务书的实验项目

这类实验是在给定条件下,由学生自己组织实验的项目,旨在培养学生应用基本理论解决实际问题及独立工作的能力。因此,任务书通常只给出实验目的、任务要求。预习这类实验时要完成以下工作。

(1) 根据实验项目的任务要求,查询相关的资料,拟定实验电路、实验方法及实验步骤。

(2) 根据有关理论,估算并选定实验电路中各元器件的参数。

(3) 根据实验测试内容的要求及实验的条件,选择仪器、仪表。

(4) 慎重考虑在实验过程中可能出现的问题,如是否会出现过电流、过电压现象,特别要思考实验过程中如何保证人身、设备的安全。

(5) 设计数据的记录表格,准备好原始记录表。

(6) 综合上述各项工作,给出该实验项目完整的实验任务书。

#### 2.1.2 基本操作程序

做实验时,一般应按下列程序进行。

### 1. 熟悉设备

了解所使用的仪器、仪表和各种元件、设备的使用方法,将它们的编号、型号、规格及满标分度登记在记录表格上,熟悉电源的操作方式,以便在发生事故能及时切断电源。

### 2. 连接线路

参照实验电路原理图上仪器、仪表和设备的分布位置,先将实际的仪器、仪表、设备初步放好,再按以下原则进行调整:

- (1) 仪表放置的位置应便于观测读数;
- (2) 需要调节的设备,其把手、旋钮要顺手放置,以便于操作;
- (3) 连接导线要尽量少交叉,以使布线合理,并保证实验的顺利进行。

仪器、仪表、设备放置好后,按照实验电路图,先接主要的串联电路,一般可从电源的一端开始,顺序连接,回到电源的另外一端,然后再连接分支电路。

连接导线都应接于仪器、仪表、设备的接线端钮上,而且一个端钮上连接的导线尽可能不要超过3根,以保证连接可靠,不易脱落。接线时,不允许不通过接线端钮而将几根导线缠绕在一起。电路中的调压器、电位器类器件,其调节手柄均应置于起始位置或规定位置。

### 3. 检查调整

接好线路后,务必认真查线,确认接线无误后应全面检查或调整仪器、设备或实验线路参数。合上电源后因参数不当造成事故的情况屡见不鲜。因此要认真检查电路参数是否已调整到实验所需值,分压器、调压器是否放在安全位置或起始位置,仪表是否已机械调零,尤其一些可调电阻器或电路中限流限压的装置是否已放在正确位置。切不可误认为它们在零位就是正确的,因其起始设定值太小而造成电源接通后即烧毁或损坏元器件、设备的现象时有发生。

检查调整后,确认无误,遵照规定请实验指导教师复查同意后方可接通电源。

### 4. 操作记录

操作时应手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据。严禁实验合闸时打闹说笑。合上电源后,应仔细观察现象,例如,负载是否正常工作,电路有无异常现象等。如果一切正常,则应迅速开始读取数据。读取数据时,对于常用的指针式仪表,要做到“眼、针、影连成一线”,姿势要正确,数据应如实记录入事前准备好的记录表格内。对于需要经换算才能得出测量值的数据,一般应先记录实测数据的实际偏转格数,然后记录下所用仪器的满偏格数和量程,做完实验后再换算出测量值。要根据所选用仪表量程和刻度盘的实际情况,合理取舍读数的有效位数,不可盲目增多和删除有效位数。操作或读取数据时,切不可使人体部位碰撞或接触电路带电部位,读取多个数据又共用一块多量程仪表时,一般应停电(断开电源)切换量程,特别是电流较大时,更不可带电切换开关或换接插销式仪表的多量程挡位插销。读取数据的多少视实验要求而定,如要求将数据绘成曲线,其数据量必须满足能描绘出一条光滑曲线的要求,在曲率大的部分要多取几点,并将所得数据在坐标纸上大致描绘出来,如有不足之处,应及时补上。在读数时,应随时分析数据是否合理,发现异常要及时查找原因,加以纠正。

### 5. 核对检查

完成全部实验后,应检查实验数据是否完整合理,经指导教师审核认可才能拆除线路,

拆完后应将仪器、仪表、设备、导线等放置整齐。

## 6. 注意事项

根据实验要求,需要改变接线时,应切断电源再改接,不论电压高低,都不允许带电操作。闭合电源前要告之同组人员,在得到同组人员许可后,方可送电,以确保人身、设备安全,并养成良好习惯。

### 2.1.3 实验报告的编写

实验报告是实验成果的书面总结,编写实验报告是一项重要的基本训练,必须认真完成。

实验报告的要求如下:文理通顺,简明扼要,字迹端正,图表清晰,结论正确,分析合理。实验报告应力求格式正规化、标准化,选用学校规定的实验报告用纸,曲线绘制用坐标纸,切忌大小不一。为便于保存,最好用墨水钢笔书写,避免用圆珠笔造成油污或字迹、数据模糊。曲线必须注明坐标、量纲、比例。

实验报告一般应包括以下主要内容。

- (1) 实验目的及任务。
- (2) 实验电路及使用的设备、实验原理及方法。
- (3) 实验数据。
- (4) 数据处理,包括整理数据、估算误差、通过计算得到结果、绘制出表示实验结果的实验曲线等。
- (5) 结论与分析讨论,包括通过实验得出的结论,对实验中发生的现象、问题、事故等的分析讨论,实验的收获体会,对改进实验的建议等。

以上第(4)、(5)两项是实验报告的重点内容。编写实验报告是培养分析和解决实际问题,以及独立工作能力的重要手段,应尽最大努力,认真独立地对待。

## 2.2 设备和元器件的选择与使用

### 2.2.1 正确选择

正确选择实验设备和实验元器件是顺利完成实验任务的保证。选择元器件和设备的依据是实验的目的、原理、电路及测量要求。根据用途可将选择分为电源选择,仪器、仪表选择,负载元器件选择等。

#### 1. 电源

根据实验要求选择电源的类别,例如,是直流、正弦还是方波,是电压源还是电流源,选择输出方式可调还是不可调,输出电压、电流的范围等。

#### 2. 仪器、仪表

根据实验使用的电源是直流电源还是交流电源,选择相应的仪器、仪表。若是交流电源,还应考虑频率范围,是低频、中频还是高频,所选择的仪器、仪表的使用频率范围需满足要

求。如测量工频电压可选用电动系或电磁系交流电压表,而测量音频电压应选择晶体管电压表。测量电量不同,使用的测量仪表也不同,如测电流需用电流表,测电压需用电压表。选择仪表时还要考虑仪表的量程,应根据有关理论及给定的实验电路对待测量进行估算,从而选择量程相近或稍大的仪表。如果无法估算出待测电量的大小,为了不至于损坏仪表,应选择量程较大的仪表。在实测中,如仪表量程过大,则可重新选择量程合适的仪表。为了提高测量的准确度,被测量应为仪表量程的  $1/2$  或  $1/3$  以上。此外,在选择仪表时,还应考虑仪表的准确度、功耗、内阻等。如电压表类内阻越大越好,电流表类内阻越小越好。

### 3. 负载元器件

(1) 电阻 对于额定功率(瓦数)、阻值、误差百分数,一般成品电阻都是给出的,可根据需要进行选择,但电阻两端能加多大的电压却需要计算得出。计算公式为  $U = (PR)^{1/2}$ ,式中, $P$ 为电阻标称功率, $R$ 为阻值。使用时,如给出的条件是电阻两端电压和通过电阻的电流,则这时要经过计算,进行电阻阻值与标称功率的选择,阻值  $R = U/I$ ,而电阻标称功率  $P = UI$ (或者  $U^2/R$ 、 $I^2R$ )。所选电阻的标称功率要尽量比计算值大一些,这样才更安全。

(2) 电容 选择电容除了应考虑电容器的标称电容值、容量值及误差百分数外,还要考虑电容类别是有极性的还是无极性的。电解电容只能用在直流电路中,使用时要注意+、一极性不能接错。交流电路只能用电容,即应选择标AC电压标称值或没标+、一极性的电容,或选择大于  $1.4 \sim 2.8$  倍直流电压标称值的无极性电容。选择电容时,要考虑其电容值,电容值根据容抗值的大小进行计算,公式为  $C = 1/(\omega X_C)$ 。也可以根据电容值计算容抗值,公式为  $X_C = 1/(\omega C)$ 。

(3) 电感 选择电感时,主要应考虑电感量的大小和电感导线允许通过的电流值。电感量可根据感抗值计算得出,公式为  $L = X_L/\omega$ 。注意,电感线圈、变压器等不能用在直流电路中,如果用在直流电路中,则整个线圈相当于一个近似短路的电阻。使用时,流过电感的电流不允许超过允许值,否则会因电流过大而烧坏。

## 2.2.2 正确操作与使用

(1) 设备的说明书、表盘符号、铭牌都是正确使用的依据,对于没有使用过的仪器、设备,一定要先看说明书和仪器、仪表铭牌,或听老师介绍,按要求进行操作和使用。

(2) 对于连接在同一电路中,需同时使用的电源、设备、仪器、仪表、负载元器件、电路元器件、连接件、插接件、开关等,使用前要认真核算各自额定值、允许值、量程等是否能配套。如果额定值彼此有差别,且没有重新选择的条件,这时要就高不就低,从而避免额定值低的元器件因过载而烧毁,量程低的仪表因过量程而把表针打坏。

(3) 各仪器或仪表的起始位置、量程选择位置要正确。一般情况下,凡是可调的输出类设备(电源等),其表针开始要放在“0”位置或低输出位置;凡是用来接收信号或测量用的仪器,表针应先放在比估算值偏大的位置或量程处,以防烧毁。还要注意各表针调零装置的使用,注意机械调零、欧姆调零和电气调零,调零后再进行测量。

(4) 连接、测试时,各端子、旋钮的连接及放置位置均不能出错。如功率表的电压线圈、电流线圈、同名端不允许接错,调压器、变压器的输入端、输出端也不允许接错,使用各旋钮时,切忌用力过猛,以防止脱位,造成位置对不准。测量时,接线方式、表笔测试位置等不能出错,

该串联的应串联,该并联的应并联。直流测量时还要保证表的+、-极性与电源的对应关系一致。

(5) 带有工作电源的仪器、仪表在使用后应将电源断开,调压器用毕应及时退回“0”输出位置,多量程电表和万用表用毕应将量程放在交、直流电压最大量程处。凡装有保险管的仪表、设备,若保险管烧断,不经允许不能随便更换。更换时一定要注意换上的保险管容量应与原保险管容量一样大。

(6) 合电源时一定要做到眼观全局,观察各表指示是否正常,是否与估算值接近,是否有过量程、反转现象,是否有冒烟、异味、声响、发热、放炮、烧保险等现象出现。如果有异常,则必须立刻断开电源,检查并排除故障后再进行操作。

(7) 实验时切记不能只埋头于操作和读数,还应随时观察,注意是否有异常现象出现,尤其是电阻类,时间长了可能出现过热或烧毁现象。

仪器、仪表、设备、元器件的正确选择和使用是一个综合性的问题,也是确保仪器、仪表、设备安全的关键,要彻底掌握并非易事,大家一定要向这个方向努力,养成良好习惯。

## 2.3 电路的正确连接

电路连接的准确无误,是做好实验的前提与保证,也是实验基本功的具体体现。电路连接和接线是每个实验都必须做和最容易做的,也是最不容易做好和引发事故最多的。如短路事故,造成烧毁仪器、仪表、设备、元器件的后果等,多数由接线错误引起。如何保证电路连接和测量接线的正确?关键是思想上重视和方法得当,且要注意以下几点。

(1) 做好准备工作。电路连接和接线前,一定要做好连接的准备工作。首先在实验台上摆放好实验所用的电源、表计、实验板等,从左到右或从右到左摆放,或者排成一行或两排。摆放时要注意顺序合理,把随时需要读取数据和观看规律现象的仪器、仪表、设备放在易读易看处,把需要随时调节的放在顺手处。易发热和危险端钮,如220 V/380 V端钮,以及调压器的进出线端子、易损器件放在不易触碰的位置,或转个合理的角度,使之离手较远。摆放是否合理要以是否能保证连接顺序正确和操作方便,使连线既不相互交叉干扰,又便于表计数据的读取和保证操作调试的安全为标准。

(2) 电路连接时要做到心中有“图”,即把电路图“画”在脑子里,也就是说,电路连接最好依“图”进行。连接的顺序是:先主回路,后辅助回路。主回路就是与电流表、负载串联的回路,或者说是通过同一电流的回路。所以在连接电路时,可按路径(电流流动方向)进出依次连接,检查无误后再接并联的辅助回路,最后接电压表。

(3) 连接要牢固,也就是说,各连接线两端的连接处一定要拧紧、插紧。对于插接件,要看清其结构,并且对正后插到位。开关通断、旋钮与转换开关位置等都要准确到位,操作时,不能过于用力,以免造成连接处损坏、转轴等。另外还要注意,在同一接线端子上的接线不宜多于3根。

(4) 检查调整。接好线后,务必认真查线,确认接线无误后应全面检查或调整仪器、仪表、设备或实验线路参数。要认真检查电路参数是否已调到电路实验所需值,分压器、调压器是否放在安全位置或起始位置,仪表机械调零是否已经完成,可调电阻是否放在正确位置。



(5) 应及时把用剩的导线、导电物品等拿开。

(6) 线路全部连接好后,经自查、同组人员互查无误,再请老师复查,经允许后方可接通电源。

(7) 切记不能带电拆改接线。实验中若需要对电路接线进行改变,一定要断电后才能进行,否则容易发生触电事故。

## 2.4 实验故障及故障查寻

故障是实验当中常见的事情,能否快速、准确地查出故障点和故障原因并及时排除,是素质和能力的体现。快速、准确地排除故障需要有较深的理论基础。对故障现象能做出准确的分析和判断,又需要有丰富的实践经验和熟练的操作技能。排除故障的能力需要通过不断学习、总结和提高才能培养出来。下面对电工实验中可能会遇到的常见故障现象,及其原因和排除方法做简要介绍。

### 2.4.1 实验故障及故障产生的原因

#### 1. 开路故障

故障现象一般为无电压、电流,也无任何声响与异常,只是仪表不偏转,示波器不显示波形等。

开路故障产生的原因是电路有断处。具体原因有:保险丝熔断,导线断离,元器件有断处,接线端、插接件连接不好或没接触上,接线端松动,焊片脱离,开关内部断开,通断位置不对应等。

#### 2. 短路故障

短路故障属破坏性故障,故障现象一般为电流急剧增大,打弯表针或烧坏电源保险,元器件损坏或元器件发热厉害,有冒烟、烤焦、异味等现象。

短路故障产生的原因多为接线和使用错误。具体原因有:电压源输出端短路;调压器或变压器接反,把输出侧当做输入侧接到 220 V 电源上;电路参数选择错误,把小阻值负载当成大阻值负载使用;可调电阻的可调输出端误放在很小(初始值一般应该放到较大位置)或接近 0 的位置;把内阻很小的电流表并接在电压源或大阻值元器件的两端,这种情况下,实际上是用电流表去测电压,造成测量错误;电路复杂,有多余连线将电源短接;电感元件直接被接到直流电压源上;接在电路中的电容元件被击穿等。

#### 3. 其他故障

故障还可能有多种表现,如:测试时数据时大时小,发生较大变化;测试的数据与预估值相差较远;表针指示突然变得较大;某器件过热;电容放炮。

以上故障大多是由接触不良或选择不当引起的。例如:接线端叉接触松动,线路焊接不牢固或虚焊,导线似断非断,开关、刀闸本身接触不好;调压器炭刷接触不好,某位置没输出,或某位置突然有输出并超过需要值;测试仪表与电路参数不搭配,如电路总阻抗很小,而测量时串联电流表阻值偏大,或被测器件阻值很大,并联电压表内阻偏小;仪表使用不当,如表

的量程选择不当,或测试方法错误,用万用表电流挡或欧姆挡测电压;元器件参数选择不当,通过元器件的电流超过允许值,元器件工作时间长,过热造成特性变化;电容极性用反,或有极性电容用于交流电路,或电容电压小于使用电压。

## 2.4.2 故障查寻的原则和步骤

(1) 出现故障应立即切断电源,避免故障扩大。

(2) 根据故障现象,判断故障性质。破坏性故障可使仪器、设备、元器件等造成损坏,其现象常常是产生烟、味、声、热等。非破坏性故障的现象是无电流、无电压,电流、电压的数值不正常,波形不正常等。

(3) 根据故障性质,确定故障的检查方法。对于破坏性故障,不能采用通电检查的方法,应先切断电源,然后用欧姆表检查电路的通断,判断有无短路、断路或阻值不正常现象。对于非破坏性故障,可断电检查,也可以通电检查,或采取两者相结合的方法。通电检查主要是用电压表检查电路有关部分电压是否正常。也可用电流表检查可疑之处的电流值是否正常。

(4) 进行检查时,首先要做到对电路各部分在正常情况下的电压、电流、电阻值等量值心中有数,然后才可用仪表进行检查,逐步缩小可能产生故障的区域,直到找到故障所在的部位。

## 2.4.3 故障查寻和判断的方法

### 1. 欧姆表法检查故障

欧姆表(或万用表欧姆挡)可以用来测量电阻,因此,可用欧姆表检查电路是否畅通,元器件、设备的电阻是否正常。若电路中的导线或连接处有断开的地方,则测量值为无穷大;若畅通,则测量值为零。要注意,用欧姆表测量时必须断开所有的电源,测量某个元器件或设备的电阻时,要将该元器件或设备与电路断开,这样可避免其他元器件提供与被测元器件并行的通路。

一般从电源的一端逐步查向另一端,先查寻主电路,再查寻分电路;先查线路是否接通,再查元器件的电阻是否正常。

### 2. 电压 - 电流表法检查故障

电压 - 电流表法检查故障是一种通电检查故障的方法。由于绝大多数电路故障都会引起电流和电压的变化,如短路故障,电流急剧上升且短路处电压为零,所以通过逐级检查各支路或元器件的电压、电流可查寻出故障。

查寻方法是根据电路的基本定律(如基尔霍夫定律)、基本公式(如分压、分流公式或元器件电流与电压的基本关系等),以及技术资料给出的或以前实验记录的各处电流、电压值,或者初步估计某些支路的电压和电流的正常值,用电压表、电流表测量相应支路或元器件的电压或电流,将测量值与理论值相比较,可判断故障的类别及故障点。

**[例 2-1]** 电路如图 2-1 所示,根据基本定律,计算得各支路电压、电流值分别为: $U_1 = 8/3 \text{ V}$ ,  $U_2 = 8 \text{ V}$ ,  $I_1 = 2/3 \text{ A}$ ,  $I_2 = 2 \text{ A}$ ,  $I_3 = 8/3 \text{ A}$ 。

如果测得电压源支路电流为  $2 \text{ A}$ ,电流源支路电流为  $2 \text{ A}$ ,支路  $bd$  电流为  $0 \text{ A}$ ,则说明两电源支路正常,而支路有开路故障。为了进一步确定故障点,再用电压表检查,如测得  $U_1 = 0 \text{ V}$ ,