



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电工电子技术 ——实践教程

● 殷瑞祥 樊利民 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费
电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术——实践教程

主 编	殷瑞祥	樊利民
参 编	朱宁西	罗昭智
主 审	谢 云	陈厚福



机械工业出版社

电工电子技术是一门理论性和实践性都比较强的技术基础课程,本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工电子技术》中的实践教程。全书共6章,主要内容包括:安全用电常识、工程实践和实验过程中用电规范;基本电量和非电量的测量方法,测量数据的后期处理;常用测量仪器仪表的基本原理和使用方法;电工电子技术实验的过程及各环节的要求、实验规范,电工电子实验中常见故障的分析与处理,常用电子元器件的识别;电工电子基础实验和电工电子综合实验。

根据教学基本要求,组织了27个基本实验项目和5个综合实验项目。基本实验大部分为设计性实验,每个实验项目可在2~3学时内完成,能够满足绝大部分专业课程实验的需求;综合实验需要综合运用课程各部分知识,能对学生进行完整的工程设计训练,可作为课程设计项目使用。

本书兼顾了深度和广度,适合于非电子、电气类各专业本专科学生,也可作为各种成人教育的教材。本书对于相关工程技术人员也是一本实用的参考书。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师索取,

索取邮箱:Edmond Yan@sina.com

Edmond Yan@hotmail.com

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术:实践教程/殷瑞祥,樊利民主编. —北京:机械工业出版社,2007.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材.

ISBN 978-7-111-21539-4

I. 电… II. ①殷…②樊… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第073610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:贡克勤 版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2007年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.25印张·253千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21539-4

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

电工电子技术(电工学)是高等学校非电类重要的技术基础课,由于电工电子技术教学对象的多样化,各个专业在教学中的要求不尽相同,为了规范教学,1992年教育部制定了相应的教学基本要求,对课程的教学内容和教学安排给出了具体的要求。

随着电子电气科学技术的发展,新器件、新方法不断出现,使电工电子技术课程教学内容在不断扩大,而1996年以来高等学校教学改革又对培养计划的课内学时实行了多次大量压缩,造成了内容多与学时少之间矛盾的加剧。教育部电子电气基础课程教学指导分委员会2003年开始重新对电工电子基础课程制定新的教学基本要求,2004年8月提出了教学基本要求(讨论稿)。

科学技术的不断发展进一步加强了各学科之间的相互联系,电工电子技术越来越在其他各学科渗透,据此,电工电子技术课程已不仅限于工科专业,众多理科甚至文科类专业也将其作为必修课程。

针对新的教学基本要求,结合不同专业开设课程时的内容选择,我们将电工电子技术课程按系列编写成3册:《电工电子技术——基本教程》、《电工电子技术——应用教程》和《电工电子技术——实践教程》。

《电工电子技术——基本教程》包括电路基本理论、电机与电器、晶体管电路基础、模拟集成电路及应用、数字集成电路及应用等基础知识,紧扣教学基本要求,使得各类型学校和专业均能使用。

《电工电子技术——应用教程》包括稳压电源、信号产生与波形变换、数据采集与处理、可编程序 and 控制系统、直流工业供电与配电及可编程器件及应用等,考虑到电工电子技术密切联系实践的特点,根据基本要求中的可选教学模块及提高的要求,既满足教学基本要求,又突出电工电子技术的应用特点,使学习者在学习过程中建立明确的工程意识,从而满足各专业教学组织的需要。

《电工电子技术——实践教程》包括安全用电、电工测量基础、常用电工电子测量仪器以及电工电子基本实验等,电工电子技术实验教学是理论教学不可缺少的一个环节,实验教学是课堂教学的补充和延续,它与课堂教学相辅相成,同时,针对实验教学中容易出现的普遍问题(如实验数据处理、故障分析与处理等)补充相应的内容,弥补了一直以来电工电子教材在这方面的欠缺,满足素质教育的需要。

本套电工电子技术教材是在编者多年教学改革实践基础上,经过多年教学实践,集体智慧的结晶。编写过程中学习参考了国内外同类和相关教材和著作,以培养学生分析问题和解决问题能力,提高学生素质为目标,注重基本概念、基本原理、基本方法的论述,使学生既能掌握好基础,又能启发学生思考、开拓视野。文字叙述力求简明扼要,便于自学。经教育部专家评审已列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

《电工电子技术——实践教程》共分6章:

第1章安全用电,主要介绍安全用电常识、工程实践和实验过程中用电规范。

第2章电工电子测量基础, 主要介绍基本电量和非电量的测量方法, 测量数据的后期处理, 误差分析等。

第3章常用电工电子测量仪器仪表, 介绍万用表、功率表、绝缘电阻表、直流稳压电源、交流毫伏表、信号发生器、示波器等常用测量仪器仪表的基本原理和使用方法。

第4章电工电子实验基本知识, 详细介绍电工电子技术实验的过程及各环节的要求、实验规范, 电工电子实验中常见故障的分析与处理, 常用电子元器件的识别。

第5章电工电子基础实验, 根据教学基本要求和教学内容, 组织了27个与教学内容相关的电工电子技术基本实验项目, 大部分为设计性实验, 每个实验项目可在2~3学时内完成, 能够满足绝大部分专业课程实验的需求。

第6章电工电子综合实验, 为了适应综合性实验和课程设计的需求, 组织了5个具有代表性的大型综合实验项目, 这些实验项目需要综合运用课程各部分知识, 能对学生进行完整的工程设计训练。

书中带*号的内容为选作部分。

本册教材由殷瑞祥教授策划组织。参加编写的有樊利民(2.1、3.1.1、3.2.1、3.3.1、3.4.1、3.5.1、3.6.1、3.7.1、第5章实验6~14、18~19、第6章实验1~3), 朱宁西(3.1.2、3.2.2、3.3.2、3.4.2、3.5.2、3.6.2、3.7.2、第5章实验4、15~17、20、第6章实验4~5), 罗昭智(第1章、2.2、2.3、第4章、第5章实验1~3、5、21~27), 全书文字最后由樊利民统稿。

华南理工大学自动化学院黄道平教授、广东工业大学自动化学院谢云教授和华南师范大学陈厚福副教授认真审阅了全部书稿, 提出了建设性的修改意见。由于审稿专家的良好建议, 使本书避免了很多错漏, 在此, 谨向他们表示衷心的感谢。

感谢华南理工大学电工电子教学实验中心全体老师和实验技术人员对教材编写提供的良好工作条件。

由于编者水平有限, 书中难免存在缺点和错误, 恳请使用本书的高校同行教师和读者给与批评指正。

本书配有电子课件, 欢迎选用本书作教材的老师索取,

索取邮箱: Edmond Yan@sina. com

Edmond Yan@hotmail. com

编 者

目 录

前言

第 1 章 安全用电 1

1.1 安全用电技术 1

1.1.1 电流对人体的作用和伤害 1

1.1.2 触电方式和安全电压 1

1.1.3 接地和接零 2

1.1.4 触电的急救处理 3

1.2 静电及其防护 4

1.3 雷电及其防护 4

第 2 章 电工电子测量基础 6

2.1 基本电量的测量 6

2.1.1 电工基本电量的测量 6

2.1.2 电子基本电量的测量 10

* 2.2 非电量的电测法 16

2.2.1 温度传感器 16

2.2.2 光电传感器 17

2.3 测量误差及数据处理 18

2.3.1 产生误差的原因 18

2.3.2 测量误差的分类 19

2.3.3 误差的表示方法 19

2.3.4 测量结果的处理 20

第 3 章 常用电工电子测量仪器仪表 23

3.1 万用表 23

3.1.1 万用表的工作原理 23

3.1.2 万用表的使用方法 26

3.2 功率表 31

3.2.1 功率表的工作原理 31

3.2.2 功率表的使用方法 32

3.3 绝缘电阻表 35

3.3.1 绝缘电阻表的工作原理 35

3.3.2 绝缘电阻表的使用方法 36

3.4 直流稳压电源 37

3.4.1 直流稳压电源的工作原理 37

3.4.2 直流稳压电源的使用方法 39

3.5 交流毫伏表 41

3.5.1 交流毫伏表的工作原理 41

3.5.2 交流毫伏表的使用方法 42

3.6 低频信号发生器 45

3.6.1 低频信号发生器的工作原理 45

3.6.2 低频信号发生器的使用方法 45

3.7 双踪示波器 49

3.7.1 双踪示波器的工作原理 49

3.7.2 双踪示波器的使用方法 52

第 4 章 电工电子实验基本知识 57

4.1 电工电子实验基本要求 57

4.1.1 实验的目的和作用 57

4.1.2 实验课的具体要求 57

4.1.3 实验室安全用电规则 58

4.2 电工电子实验中常见故障的分析与处理 59

4.2.1 常见故障类型以及引起故障的原因 59

4.2.2 故障的预防 59

4.2.3 故障的检测 60

4.3 常用电子元器件的识别 60

4.3.1 电阻器 60

4.3.2 电容器 62

4.3.3 半导体分立器件 63

4.3.4 半导体集成电路 64

第 5 章 电工电子基础实验 67

实验 1 直流网络参数的测定 67

实验 2 交流电路的频率特性 71

实验 3 RL 串联电路及其功率因数的提高 73

实验 4 一阶电路暂态过程研究 77

实验 5 三相交流电路 81

实验 6 单相变压器及其特性试验 84

实验 7 三相异步电动机 86

实验 8 三相异步电动机的正反转控制电路 90

实验 9 三相异步电动机的顺序控制电路 93

实验 10 可编程序控制器 (PLC) 实验 96

实验 11 硅稳压管稳压电路 99

实验 12 低频单管电压放大电路 101

实验 13 多级阻容耦合放大电路和负反馈

放大电路	105	实验 23 寄存器	133
实验 14 差动放大电路	108	实验 24 计数器	135
实验 15 集成运算放大器的基本运算 电路	110	实验 25 计数、译码、显示电路	137
实验 16 集成运算放大器的非线性应用及 波形发生器	113	实验 26 多谐振荡器	140
实验 17 集成功率放大器	117	实验 27 彩灯控制电路	142
实验 18 串联型直流稳压电源	121	第 6 章 电工电子综合实验	145
实验 19 集成稳压电源	124	实验 1 数字电子钟	145
实验 20 单相半控桥式整流电路	125	实验 2 数字电压表	146
实验 21 简单组合逻辑电路的设计	128	实验 3 数字温度计	148
实验 22 触发器及其应用	130	实验 4 交通信号灯控制电路	149
		实验 5 燃气具电脉冲产生电路	154
		参考文献	158

第1章 安全用电

1.1 安全用电技术

1.1.1 电流对人体的作用和伤害

当人站在非绝缘体上接触到电气设备的带电(或漏电)部分时,人体将承受一定的电压,从而使电流通过人体,产生触电。人体触电可分为两种情况:一种是雷击和高压触电,此时流过人体的电流较大,使人体遭受严重的电灼伤,组织碳化坏死以及其他难以恢复的永久性伤害;另一种是低压触电,在几十毫安或更大的电流作用下,人体有针刺痛感,或出现痉挛、血压升高、心律不齐以致昏迷等暂时性的功能失常,严重的可能使呼吸停止、心跳骤停,从而危及生命。

触电的危险程度与流过人体电流的大小,电流持续的时间,电流的频率,以及电流通过人体的途径等因素有关。电流越大、作用时间越长,危害性就越大。50mA 以上的电流流经人体就有生命危险。电流的频率不同,对人体的危害程度也不同;直流电对血液有分解作用,50~100Hz 的交流电流对人体的危害最严重,而高频电流对人体危害很小,还可以用于医疗保健。电流如果通过心脏会导致神经失常、心跳停止、血液循环中断,危险性最大。因此,电流路径从手到手或从手到脚是最危险的,而从脚到脚的危害性相对较小。

1.1.2 触电方式和安全电压

传统的三相四线制供电线路,中性点都是接地的。当人体与任何一根相线接触时,将有电流通过人体,如图 1-1 所示,人体承受相电压。此时流过人体的电流为

$$I = \frac{U_p}{R_0 + R_b}$$

式中, R_0 为低压供电系统的接地电阻; R_b 为人体电阻。

人体的电阻与皮肤表面的干湿程度、洁污程度、所加电压有关。皮肤干燥时,人体电阻可达数千欧;而皮肤湿润时,只有 1kΩ 左右。所加电压增大、持续时间增加,则人体电阻减小。如果人体与地面的绝缘良好(如人站在绝缘物体上),将使触电的危险性大大减小。

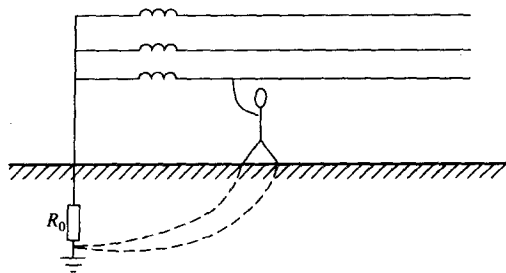


图 1-1 人体单相触电示意图

若取人体电阻为 1kΩ,安全电流取 50mA (实际上 50mA 电流便有生命危险),则人体允许持续接触的最高电压为 $1000 \times 50 \times 10^{-3} \text{ V} = 50 \text{ V}$,显然,常用的相电压 220V 远超过安全电

压。

当人体双线触电（即人体同时接触两根相线）时，人体所承受的电压为线电压，其危险性远比单相触电大，不过出现这种情况的可能性相对较少。

根据环境不同，我国规定有相应的安全电压等级：在有触电危险的场所，安全电压为 42V；在矿井、多导电粉尘的场所，安全电压为 36V。

为了避免工作人员使用电气设备时发生触电危险，必须采取一系列的安全措施，例如安装防护罩以免触及电气设备的带电部分，为了防止绝缘损坏造成触电事故，则应接保护地线等。

1.1.3 接地和接零

为了防止电气设备的金属外壳因设备内部绝缘损坏而意外带电，从而造成触电事故，应当采取必要的保护性接地和接零措施。

所谓接地，是指将电气设备的接地点通过接地线和接地装置与大地连接起来。根据接地目的的不同，可分为工作接地、保护接地和保护接零 3 种。

1. 工作接地 为保证电气设备正常运行而进行的接地称为工作接地，如电源中性点的直接接地。电源中性点直接接地，可以维持三相供电系统中相线对地电压不变，当地面上的人不慎触摸到一相线时，其触电电压为相电压。如果中性点不接地，当一相接地而人体触及另外两相之一时，则触电电压将为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即为线电压，这使触电的危险性大增。

2. 保护接地 为保障人身安全，防止触电而将电气设备的金属外壳（正常情况下是不带电的）接地，称为保护接地。这种接地方式适用于电源中性点不接地的三相三线制供电系统。

在中性点不接地的供电系统中，当某电气设备因内部绝缘损坏而使外壳带电时，如果外壳没有接地，人体触及外壳时，相当于单相触电，此时流过人体的电流大小取决于人体电阻和设备的绝缘电阻，当设备的绝缘损坏或性能下降时，人体就有触电的危险。为了消除这种危险，电气设备的金属外壳需可靠接地，如图 1-2 所示。此时由于人体的电阻与接地电阻并联，通常情况下，人体电阻比接地电阻大得多，所以通过人体的电流就很小了，不会有危险。

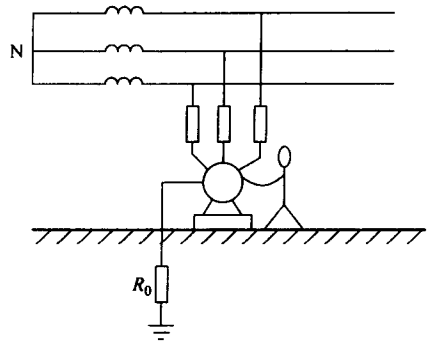


图 1-2 保护接地

3. 保护接零 保护接零就是将电气设备的金属外壳接到中性线（也称为零线）上，这种方法适用于电源中性点接地（即有工作接地）的三相四线制供电系统，如图 1-3 所示。

在三相四线制系统中，如果绝缘损坏使一相线碰及金属外壳时，则该相与电源中性线形成单相短路，该相熔断器或保护设备动作，从而使外壳不带电，没有触电危险。

在中性点接地的三相四线制供电系统中，只采用保护接零，不采用保护接地，因为采用保护接地不能有效地防止人身触电事故。如果在图 1-4 所示中性点接地的系统中采用保护接地，则当绝缘损坏使相线碰及设备的金属外壳时，其短路电流为

$$I_{SN} = \frac{U_P}{R_0 + R_d}$$

式中, R_0 为系统中性点的接地电阻, 一般为 4Ω ; R_d 为用电设备的接地电阻, 也为 4Ω 。则在 220/380V 的电源系统中, 短路电流为

$$I_{SN} = \frac{220}{4+4} \text{A} = 27.5 \text{A}$$

当用电设备的工作电流大于 27.5A 时, 所选熔断器也必须大于 27.5A, 此时, 采用图 1-4 所示的保护接地, 当一相线碰及外壳时, 短路电流不能使熔断器的熔丝熔断, 从而使外壳长期带电, 本例中外壳对地电压为 110V, 显然该电压对人体是不安全的。所以, 在三相四线制中性点接地的低压供电系统中不容许采用保护接地。

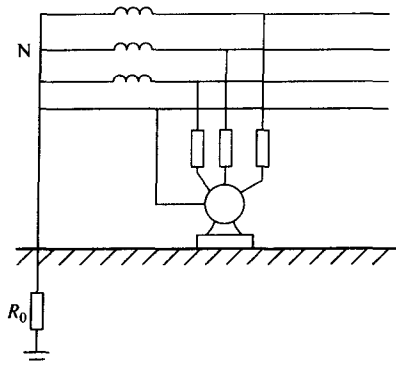


图 1-3 保护接零

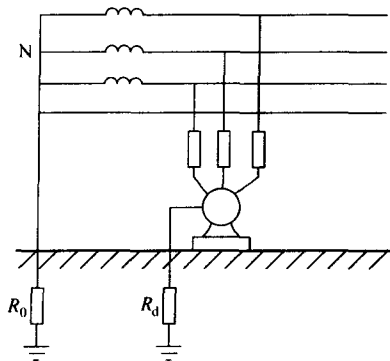


图 1-4 三相四线制系统中采用保护接地

1.1.4 触电的急救处理

当发生人员触电时, 必须及时进行必要的急救处理。

1. 脱离电源 急救的第一步就是让触电人员尽快地脱离电源, 具体操作如下:

- 1) 如果电源开关就在附近, 应立即切断电源。
- 2) 如果电源开关离救护人员较远, 可用绝缘的物体 (如干燥的木棒、竹竿、木椅或其他带有绝缘手柄的工具) 迅速使触电者脱离电源, 也可用绝缘手钳或带有干燥木柄的刀或其他工具将电线切断, 从而使触电者脱离电源。
- 3) 救护人员在切断电源时一定要注意自身的安全, 在电源没有被切断之前, 救护人员切不可触及触电者。在帮助触电者脱离电源的过程中, 切不可直接手拉触电者, 也不能用金属导电的物体去作抢救工具, 以防救护人员自身触电。

2. 急救处理 当触电者脱离电源后, 应立即进行现场紧急救护, 同时通知医护人员前来抢救。

如果触电者的伤势不重, 神志清醒, 只是心慌、无力, 应让伤员平卧休息 1~2h, 有过早搏动者应观察 24h。

对于重伤员, 应立即在现场进行抢救, 如对呼吸停止而心跳未停者应人工口对口呼吸, 对心跳停而呼吸未停者可作胸外心脏挤压, 每分钟 60~70 次。

急救应尽可能在现场进行, 等待医护人员到来。只有在现场危及安全时, 才允许将触电者移至安全的地方进行急救。在将伤者送往医院的途中, 急救也不能间断。

如果触电者出现假死现象，千万不要放弃，一定要坚持救护，直到伤者复苏或医务人员前来救治为止。

1.2 静电及其防护

静电是由于物体间相互摩擦或感应而产生的。产生静电现象的场合很多，例如物料粉碎、搅拌等加工过程，带运输机的皮带与带轮间的摩擦等。这些静电现象对生产和生活带来不便和危害，静电的主要危害是由于静电放电引起周围易燃易爆的物品起火或爆炸，静电放电也会使人遭受电击，虽然一般情况下限于静电能量不至于直接致人死亡，但可能使人跌倒而引起二次伤害。

静电防护的主要措施：

1. **接地** 接地是消除物体上产生的静电的最简单、最基本的方法。将物料加工储存、运输以及金属运输管道等用导线连接起来并接地，接地电阻阻值不要求如供电线路中保护接地那么小，但要求牢靠，也可与其他接地共用接地装置。

2. **静电中和** 利用相反极性的电荷中和工作中产生的静电。这种方法适用于消除绝缘材料运行摩擦产生的静电。

3. **泄漏** 采取一定措施以降低带静电物体的电阻率，以有利于静电的泄放。在绝缘材料中加入抗静电添加剂，也可以降低绝缘电阻，易于静电泄放。

1.3 雷电及其防护

雷电是大气中的一种自然放电现象，雷电的破坏作用主要是雷电通过建筑物或电气设备对大地放电时，会对建筑物或电气设备产生破坏作用，甚至威胁到人身安全。

雷电的形成原因很多，一般认为在天气闷热潮湿时，地面的水分蒸发形成水蒸气上升，在高空遇到冷空气凝结形成水滴下降，在下降过程中水滴被吹散，水滴分离时则产生正、负两种电荷，下降的大水滴带正电荷，随气流上升的小水滴带负电荷。这种电荷的积累愈来愈多，到一定程度时，强大的电场便会击穿空气，在云层与云层之间或云层与大地之间放电，从而产生强烈的弧光和声音，这就是“闪电”和“雷声”，即雷电。

容易遭受雷击的地方为

- 1) 高耸突出的建筑物。如水塔、烟囱、屋角等。
- 2) 排出导电尘埃的烟囱、厂房和废气管道等。
- 3) 屋顶为金属结构的建筑物。
- 4) 特别潮湿的建筑物和地下水位比较高的地方。
- 5) 地下埋有金属管道，或内部有大量金属设备的厂房。
- 6) 地下有金属矿物的地带。
- 7) 有大树和山区的输电线路。

雷电的破坏作用主要是由雷电流引起的，由于雷云放电速度很快，所以雷电流很大，在雷电到达地面的瞬间，雷电流可达几十甚至上百千安。所以必须采取一定的防雷措施。

对于建筑物，可根据建筑物的防雷等级安装合适的避雷针、避雷线、避雷带、避雷网

等。对于供电线路或电气设备，根据需要还可以安装一些防雷设备，如避雷器等。避雷器主要由放电间隙、可变电阻及电磁吹弧元件组成。当雷电到来时，避雷器在导线与大地之间提供一个低阻抗的导电通路，让雷电流流入大地。常用的避雷器有阀型和管型两种。

1. 阀式避雷器 目前常用的是用碳化硅压敏电阻制成的避雷器。压敏电阻制成后就有开关电压，当外加电压低于开关电压时，压敏电阻呈现高电阻值状态；当外加电压高于开关电压时，压敏电阻被击穿，呈现低电阻值。当雷电流消失后，压敏电阻又恢复成高电阻值状态，使被保护的线路正常工作。

2. 管式避雷器 管式避雷器的气体发生管由胶木纤维、塑料或橡胶组成。管内有由棒形和环形电极组成的内间隙，管子另一端的外间隙用以隔离线路。当雷电波侵入到管式避雷器时，其电压超过了火花间隙放电电压，此时内外间隙同时击穿，使雷电流泄入大地，从而对电气设备起到保护作用。

此外，针对不同的用电设备，目前市场上还有多种电子避雷器，在此不作一一介绍，有兴趣的读者可参阅相关资料。

人们在日常生活中也要谨防雷击，当碰到闪电打雷时，若人在室内，不要开门窗，不要摸金属管道或淋浴，不要靠近建筑物的外墙和用电设备以及打电话；若人在室外，应迅速到就近的建筑物内躲避，但不宜进入旷野中临时性的岗亭或棚屋等无防雷设施的低矮建筑物。如果身处野外无处躲避时，要将身上的导电物品（如手表、眼镜等金属物品）摘掉，找低洼处伏倒躲避，千万不要在大树下躲避。如果迫不得已需要在大树下停留，也应该与枝叶保持2m以上的距离，双脚并拢并且下蹲。另外，不宜在旷野高举雨伞等有尖端的物体；不宜进行户外球类活动；不宜在水面或水陆交界处作业，如钓鱼、划船、游泳；不宜停留在建筑物的顶上。

第2章 电工电子测量基础

2.1 基本电量的测量

电工测量的任务是测定电流、电压、电功率、电阻等电工量。电工测量大多采用直接测量法,就是将被测量直接与同一类的已知量进行比较的测量方法,用这种方法,测量结果可以由一次测量的实验数据得到,例如用电流表测量电流。电子测量除了要测定电压、电流、功率外,还要测量增益、频率特性等其他电子电路性能指标。电子测量往往采用间接测量法,即被测量不是直接测量,而是根据其他量的测量结果以及这些量与未知量的关系,用计算的方法来决定。在电子电路中,电压是最基本的参数之一,很多物理量都可以通过测量电压来间接得到;而且,数字电压表表头已是成型的产品,只要把其他量转换成标准的电压,接到数字表头就可以显示测量结果,非常方便。所以电压测量是许多电参数测量的基础。如放大电路的输出电阻,就可以通过测量其开路电压和负载电压得到(详见2.1.2.3)。

2.1.1 电工基本电量的测量

1. 电压的测量 测量电压的仪表,称为电压表。传统上,测量直流电压采用磁电系电压表,而测量交流电压采用电磁系电压表。也可以用万用表来测量。但注意不能用万用表测量非正弦电压,也不能测量超出其频率范围的交流电压,否则都会产生较大误差。

测量电压时,必须把电压表与被测电路相并联,还要注意直流电压表的“+”、“-”端钮一定要和被测电压的“+”、“-”极性对应相接,不能接反。因电压表与被测电路并联,所以为了避免对电路的影响,其内阻必须尽可能高。一般模拟式的测量机构其内阻都不大,所以必须和它串联一个称为“倍压器”的高阻值电阻来扩大量程。如图2-1所示。采用倍压器扩大量程,需要扩大的量程越大,则降压电阻的阻值愈高。

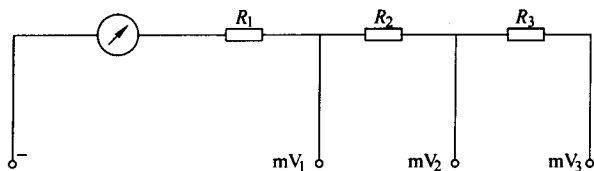


图 2-1 三量程电压表

当测量几百伏以上的交流高电压时,通常需要用电压互感器来扩大电压表的量程。如图2-2所示。电压表的一次绕组并联于被测电路的两端,二次绕组接电压表。测量时将电压表的实际读数乘以互感器的变压比,就可得到被测电压 U 的值。一般电压互感器二次侧额定电压设计为 100V。使用时注意电压互感器的二次侧不能短路,同时二次侧的一端必须接地。

2. 电流的测量 测量电流的仪表称为电流表,通常测量直流电流、交流电流可分别采用磁电系、电磁系电流表,也可以用万用表测量。测量电流时,电流表应串联在被测电路中。若是直流电流表还要注意其“+”、“-”极性,应保证电路的电流从电流表标有“+”

极性的端钮流入。因为电流表串联在电路中，所以其内阻应尽可能的小，才不会使电路受到影响。因为电流表的内阻很小，所以万万不可以将电流表并联在被测电路的两端，以免电流表因流过的电流过大而烧毁。

采用磁电系电流表测直流电流时，因其测量机构允许流过的电流很小（一般不超过 $150 \sim 200\text{mA}$ ），所以测大电流时，常采用给电流表表头并联低值电阻 R_f （称分流器）来分流的方法以扩大量程，如图 2-3 所示。显然，需要扩大的量程越大（即待测电流越大），分流器的电阻应越小。

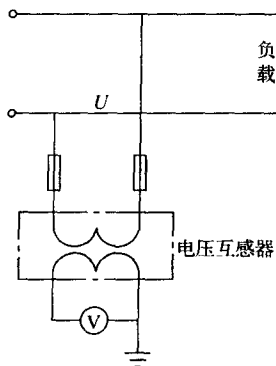


图 2-2 测交流高压用电压互感器

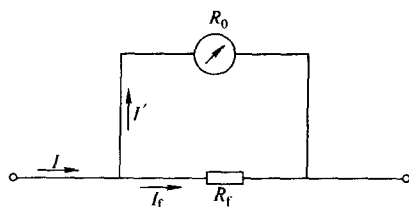


图 2-3 用分流器扩大量程

当用电磁系电流表测交流电流时，一般不用分流器来扩大量程。这是因为电磁系测量机构的线圈是固定的、可以通过较大的电流；另外，测量交流时分流不仅与电阻，而且还与电感有关，分流器很难制作得精确。通常采用两个方法扩大量程，一是改变固定线圈的联接方法，如图 2-4 所示；二是使用电流互感器，如图 2-5 所示。

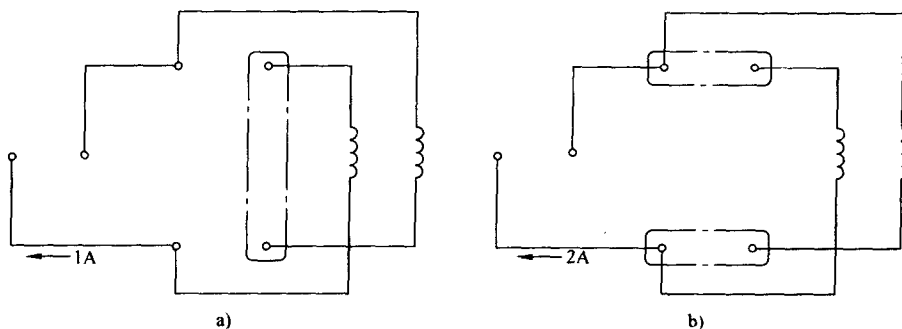


图 2-4 改变固定线圈的连接方法

a) 两线圈串联 b) 两线圈并联

在图 2-4 中，固定线圈由两个额定电流均为 1A 的线圈组成，当被测电流在 1A 以下时，把两个线圈串联，如图 2-4a 所示；而当被测电流范围为 $1 \sim 2\text{A}$ 时，则应把两线圈并联，如图 2-4b 所示。

在图 2-5 中，电流互感器的一次绕组串入被测电路，二次绕组与电流表连接。测量时将电流表的实际读数乘以互感器的电流比，就得到被测电流 I 的值。通常电流互感器二次侧的额定电流设计为 5A 。使用电流互感器时切记二次侧绝对不能开路，另外二次侧的一端必

须接地。

需要指出的是,倍压器、分流器等扩大量程的电路一般都放在仪表内部,成为仪表的一部分,测量时只需在外部转换量程开关就可以改变量程了。而目前新型的万用表大多具有自动转换量程功能,使得操作更加简单方便。

3. 功率的测量 不管是直流电路,还是交流电路,其功率都可以采用电动式功率表(瓦特计)直接进行测量。

对直流电路,因功率 $P = UI$, 所以还可以用间接的方法,用电压表测电压 U 、用电流表测电流 I , 然后两者相乘得功率 P 。图 2-6 是间接法测直流功率的接线图,在负载电阻小(负载电流大)的情况下应采用图 2-6a 接法,因为这时若采用图 2-6b 接法,则电流表内阻上的分压相对较大,会造成误差。图 2-6b 适用于负载电阻大(负载电流小)的情况,若这时采用图 2-6a 接法会因电压表的分流而使误差增大。

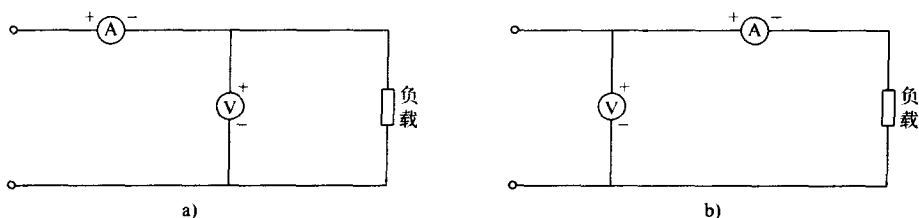


图 2-6 用间接法测直流功率

交流有功功率的测量一般用电动式功率表。接线时,功率表的电压线圈应与负载相并联,电流线圈应与负载相串联,两个线圈标有“·”标记的一端是同名端,必须把它们接到电源的同一根线,否则指针反转,甚至损坏,详见 3.2。单相交流电路中,用单相功率表测功率,接线图如图 2-7 所示。

三相交流电路中,三相功率可以用单相功率表测量,也可以直接用三相功率表。当用单相功率表测三相功率时,根据三相电路的不同情况(三线制或四线制,对称与不对称),可分为一表法、两表法、三表法等,下面分别进行说明。

(1) 一表法 若三相负载对称,不论是三线制还是四线制,也不管负载是 Y 联结还是 Δ 联结,只要用一只单相功率表测出某一相的有功功率,乘以三就得到三相总功率。接线原理图如图 2-8 所示。在图 2-8a、b 中,电流线圈流过负载相电流,电压线圈承受负载相电压。图 2-8c 是人工中性点法,其中两个电阻 R_0 需外接,且其值等于功率表电压回路的总电阻。

(2) 二表法 若三相负载不对称,就不能采用上述一表法。在三相三线制中,不论负载

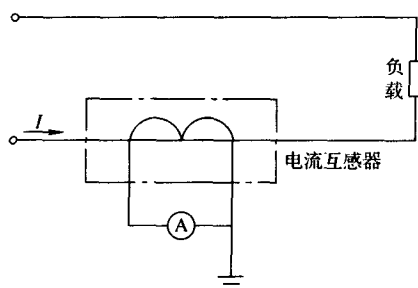


图 2-5 测交流大电流用电流互感器

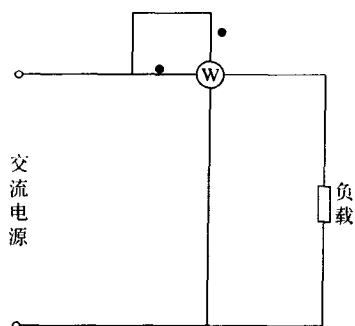


图 2-7 测单相交流功率接线图

对称与否,都可以采用两表法测量三相功率,其接线图如图 2-9 所示。由图 2-9 得

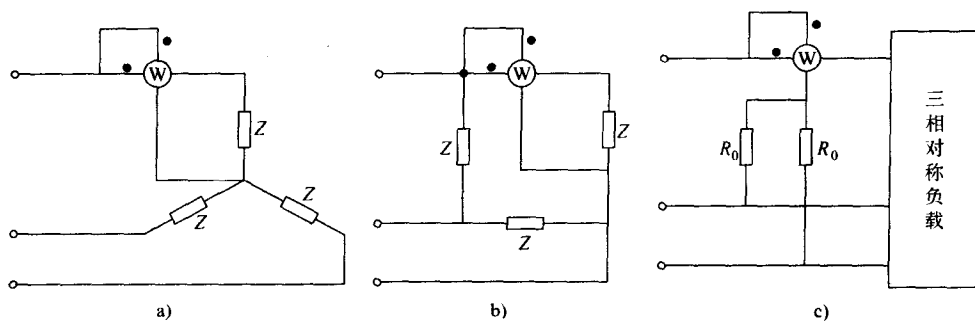


图 2-8 一表法测三相对称负载功率

a) Y 联结对称负载 b) Δ 联结对称负载 c) 人工中性点法

$$p_1 = i_A u_{AC}$$

$$p_2 = i_B u_{BC}$$

$$\begin{aligned} p_1 + p_2 &= i_A u_{AC} + i_B u_{BC} = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) \\ &= i_A u_A + i_B u_B + (-i_A - i_B) u_C \end{aligned}$$

因三相三线制, $i_A + i_B + i_C = 0$, 所以

$$p_1 + p_2 = i_A u_A + i_B u_B + (-i_A - i_B) u_C = i_A u_A + i_B u_B + i_C u_C = p$$

以上分析表明, 两功率表的读数之和, 等于三相电路总的有功功率 P , 即

$$P = P_1 + P_2$$

需要注意的是, 两表法测三相功率时, 单个功率表的读数本身没有物理意义。

(3) 三表法 若负载不对称, 且又是三相四线制, 则以上两种方法均不能用, 这时可以用 3 个单相功率表分别测出 3 个相的有功功率, 将三表读数相加, 就得到三相电路总的有功功率。此即三表法。接线图如图 2-10 所示。3 个功率表分别接在 3 个相的相电压和相电流回路上。

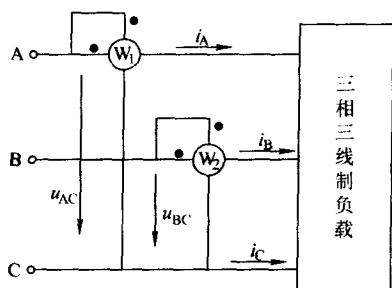


图 2-9 两表法测三相三线制电路功率

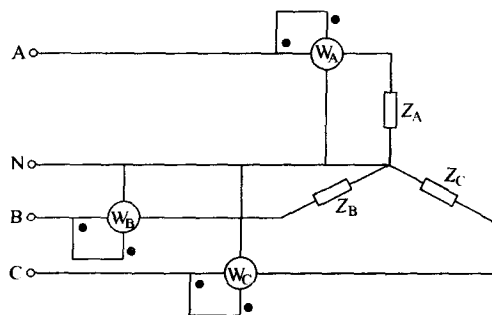


图 2-10 三表法测三相四线制电路功率

根据以上两表法或三表法的原理, 将两只或 3 只单相功率表的测量机构有机地组合起来, 就构成了三相功率表。三相功率表直接指示三相总功率, 结构紧凑, 使用方便, 广泛应用于工程实际中。

使用功率表时, 还要特别注意它的量程。功率表有 3 个量程: 电流量程、电压量程、功率量程, 其中功率量程是电压量程和电流量程的乘积, 相当于负载功率因数等于 1 时的功率

值,也是仪表满刻度偏转时的功率值。选择功率表的量程时,不是根据所测功率值来选,而是要保证电流量程应容许通过负载的最大工作电流,同时电压量程能承受负载电压,按这样的原则选取,功率量程必然也是足够的。如果只注意测量功率的量程是否足够,而忽视电压、电流量程是否和负载电压、电流相适应,就很容易造成单个电压线圈或电流线圈过载而损坏功率表。

例 2-1 今需测量 30W 荧光灯工作时实际消耗的功率值(设为 40W),试选择功率表的量程。

解 荧光灯电路的电源电压为 220V,所以应选额定电压为 250V 或 300V 的电压量程。

荧光灯电路的功率因数一般低于 0.5,设为 0.5,则其工作电流约为

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{40}{220 \times 0.5} \text{A} = 0.36 \text{A}$$

据此可选择额定电流为 0.5A 的电流量程。

根据上述选定的电压量程和电流量程,可知此时功率量程为: $(300 \times 0.5) \text{W} = 150 \text{W}$,完全满足测试要求(40W)。但若我们按照 40W 来选择 150W 的功率量程,然后随便使用额定电压为 150V 的电压量程和 1A 的电流量程,则尽管 $(150 \times 1) \text{W} = 150 \text{W}$,但电压线圈实际要承受 220V 的负载电压,远远超过其 150V 的额定电压,这是不允许的。

另外,还需指出,若交流电路的功率因数较低而又需测量其消耗的有功功率时,必须使用专门的低功率因数功率表,使用普通功率表将会产生较大的测量误差。低功率因数表的接线和使用方法同普通功率表。

2.1.2 电子基本电量的测量

电子电路中,电压是最基本的参数,下面先讲述电压的测量,然后再介绍频率、相位等物理量的测量方法。

2.1.2.1 电压的测量

电子电路中的电压频率范围宽,从直流到数百兆赫兹;数值范围宽,从几微伏到千伏以上;还具有非正弦电压、交直流电压并存的特点。而每种仪表,都有它的适用范围,所以在电子测量中,选择正确的仪表类型,特别重要。根据被测量是交流还是直流,选择用交流仪表或直流仪表;测量交流电量时,应区分是正弦还是非正弦,若是正弦,只需测其有效值,若是非正弦,还要区分是测有效值还是平均值、或者是最大值;测交流电量,还要考虑其频率的高低,以选择对应频率范围的仪表。选择测量仪表时,还要考虑被测电路的阻抗,要求的测量精度等因素。

1. 直流电压的测量 可以用万用表的直流电压挡(DCV)测直流电压。若用数字万用表,因其输入电阻高达 $10 \text{M}\Omega$ 以上,所以对被测电路影响很小;而且可直接显示电压数值和极性,有的表还具有自动换挡功能,操作很方便。若是使用模拟式万用表,因其输入电阻一般不大,且量程不同内阻也不一样,因此只适用于被测电路等效内阻很小或信号源内阻很小的情况。

用示波器也可测量直流电压。先将输入耦合置为 GND,即令输入信号为零,调整扫描线与屏幕上某个刻度线(一般是选正中间的那条线)重合作为参考零电位,然后置输入耦合为 DC 即直流耦合挡,锁定 Y 轴灵敏度的微调,并调整 Y 轴灵敏度(V/div)等使扫描线显示