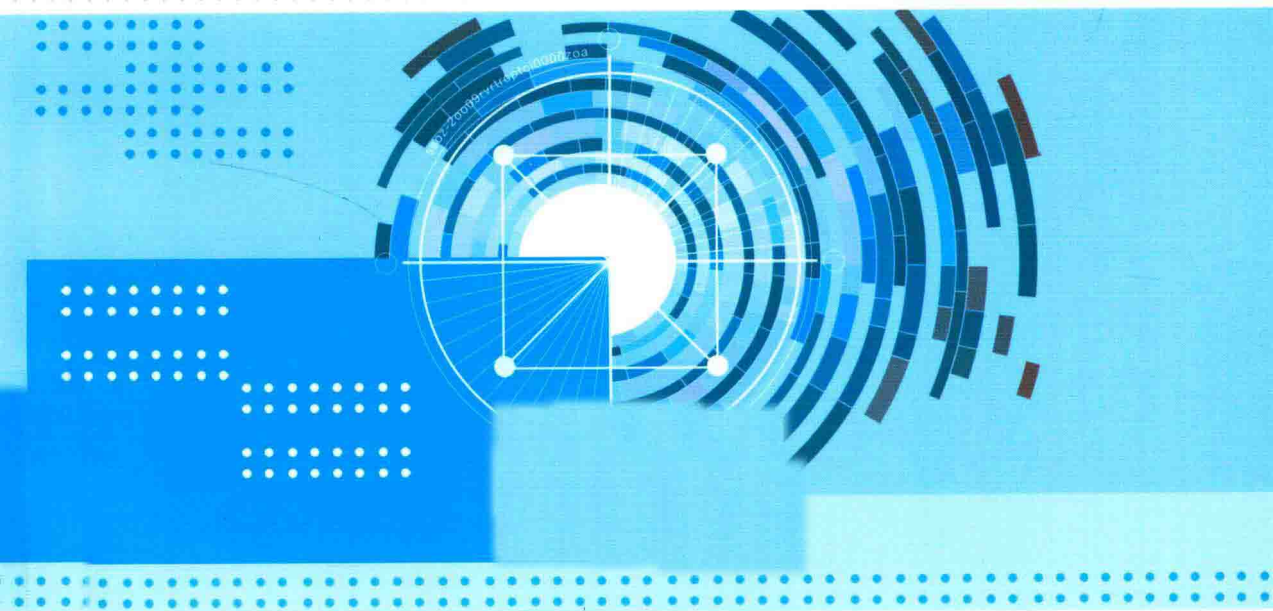




应用技术型高等院校“十三五”规划教材 >>>

电工与电子技术基础 实验教程

胡淑均 夏秋华 周天庆 戴哲转 ◆ 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

应用技术型高等院校“十三五”规划教材

电工与电子技术基础实验教程

胡淑均 夏秋华 周天庆 戴哲转 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是参照高等学校工科非电类专业学习技术基础课“电工与电子技术”的教学要求的精神而编写的,全书共分四部分。

第一部分为电工学实验预备知识,包括实验安全知识、误差的概念、常用元件的识别和仿真软件 Multisim 13 的介绍。

第二部分为电工技术实验,共有八个实验项目,包含直流电路、交流电路、动态电路和三相交流电路及电动机的控制电路。这部分是基础实验,以验证性实验为主。

第三部分为电子技术实验,共有十个实验项目,其中既包括有电子仪器的使用练习的基础实验,也有设计性综合实验、仿真实验等。实验内容难易程度覆盖了不同层次的教学要求,方便任课教师根据不同班级学生的实际水平选择不同的实验项目。

第四部分为实验报告页,为方便学生使用,本教材后面还附有实验报告页,学生也可将实验报告页裁下,做完实验后直接在实验报告页上完成实验报告的撰写,然后交给实验教师批阅。

为适应电工学实验不独立设课的教学要求,本教材中大部分实验都附有实验原理、参考电路和思考题,学生可通过自学实验原理后,自行完成实验。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础实验教程 / 胡淑均等编著. —
北京:中国水利水电出版社,2016.7
应用技术型高等院校“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4575-5

I. ①电… II. ①胡… III. ①电工实验—高等学校—
教材②电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TM
②TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第173839号

策划编辑:雷顺加 责任编辑:宋俊娥 加工编辑:高双春 封面设计:李 佳

书 名	应用技术型高等院校“十三五”规划教材 电工与电子技术基础实验教程
作 者	胡淑均 夏秋华 周天庆 戴哲转 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 7.75印张 186千字
版 次	2016年7月第1版 2016年7月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

伴随着现代科学技术快速发展, 电工与电子技术课程的知识体系和教学理念也发生了很大的变化, 现代的电工与电子技术实验教学更应该是以验证性实验为基础、设计性实验为延伸、创新性实验为高端发挥、开放型实验室为平台、学生的科技活动为实验室的无限空间扩展, 它们共同构成了高等工科院校的电工与电子技术实验教学的新模式和新体系。

在实验课程的组织上要充分体现实验教学与培养能力相结合、基础理论与新技术相结合、实验教学与理论教学相结合、课内教学与课外实践相结合。这本实验教材是配合工科非电类专业“电工与电子技术”开设的实验课程而编写的, 依照教学规律按照由浅入深、循序渐进的学习和能力培养原则, 分层次安排实验内容, 逐步加深, 既相互独立, 又相互联系, 可根据不同专业教学需要、课时要求、培养目标进行内容取舍、组合, 构建出不同的实验教学模块。编写过程既力争切合学生学习的实际情况, 又结合具体实验条件, 使实验内容得以实现; 保障学生掌握基本电子电路原理, 掌握电路性能参数的调试、测试方法和故障分析排除等基本能力。培养学生具有初步的电子电路综合分析和设计电路的能力, 并具有基本的电工技能。

教材在内容组织上, 既有体现电子电路基本分析、设计和实验调试方法的传统实验内容; 同时也适当引入电子电路仿真的实验项目。本教材的编写由武汉轻工大学自动化教研室电工学教研小组成员胡淑均、夏秋华、周天庆、戴哲转(排名不分先后)共同完成。

本教材的编写得到了武汉轻工大学教务处长徐伟民教授、电气与电子工程学院院长周龙教授及电气与电子工程学院多位领导和同事的关心与大力支持, 实验中心的常晓萍、张玉姣等老师也对初稿进行了认真审阅, 提出了许多宝贵的意见和修改建议, 在此一并致谢! 由于编者的能力和水平有限, 书中难免存在错漏和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编 者
2016年4月

目 录

前言

第一部分 电工学实验预备知识	1	2-3-2 实验仪器设备	34
1-1 电工学实验守则	1	2-3-3 实验原理	34
1-1-1 电工学实验课的作用	1	2-3-4 实验内容及步骤	35
1-1-2 学生实验守则	1	2-3-5 实验报告要求	36
1-1-3 实验报告手册书写要求	2	2-4 一阶 RC 电路研究	36
1-1-4 实验报告的评分标准	2	2-4-1 实验目的	36
1-2 实验测量误差概述	3	2-4-2 实验仪器设备	36
1-2-1 测量误差的表示方法	4	2-4-3 实验原理	36
1-2-2 测量误差的分类	6	2-4-4 实验内容及步骤	38
1-2-3 系统误差的消除	7	2-4-5 实验注意事项	38
1-3 常用元件的识别	9	2-4-6 实验报告要求	38
1-3-1 电阻、电容、电感的识别与简单测试	9	2-5 二阶 RLC 电路研究	38
1-3-2 二极管、三极管的识别与简单测试	18	2-5-1 实验目的	38
1-3-3 集成电路的识别	22	2-5-2 实验仪器设备	39
1-4 Multisim 13 简介	26	2-5-3 实验原理	39
第二部分 电工技术实验	28	2-5-4 实验内容及步骤	41
2-1 常用电工仪表的使用	28	2-5-5 实验注意事项	42
2-1-1 实验目的	28	2-5-6 实验报告要求	42
2-1-2 实验仪器设备	28	2-6 功率因数的提高	43
2-1-3 实验原理	28	2-6-1 实验目的	43
2-1-4 实验内容及步骤	30	2-6-2 实验仪器设备	43
2-1-5 实验注意事项	31	2-6-3 实验原理	43
2-1-6 实验思考题	32	2-6-4 实验内容及步骤	44
2-2 叠加定理	32	2-6-5 实验注意事项	45
2-2-1 实验目的	32	2-6-6 实验报告要求	45
2-2-2 实验仪器设备	32	2-6-7 实验思考题	45
2-2-3 实验原理	32	2-6-8 实验小资料	45
2-2-4 实验内容及步骤	32	2-7 三相电路的电压、电流和功率的测量	46
2-2-5 实验注意事项	33	2-7-1 实验目的	46
2-2-6 实验报告要求	33	2-7-2 实验仪器设备	46
2-3 戴维宁定理	34	2-7-3 实验原理	46
2-3-1 实验目的	34	2-7-4 实验内容及步骤	47

2-7-5	实验注意事项	49	3-4-3	实验原理	64
2-7-6	实验报告要求	49	3-4-4	实验内容	67
2-7-7	实验思考题	49	3-4-5	实验注意事项	68
2-8	三相异步电动机控制电路设计	49	3-4-6	实验报告要求	68
2-8-1	实验目的	49	3-4-7	实验思考题	68
2-8-2	实验仪器设备	50	3-5	RC 正弦振荡器	68
2-8-3	实验原理	50	3-5-1	实验目的	68
2-8-4	实验内容及步骤	51	3-5-2	实验仪器设备	68
2-8-5	实验注意事项	51	3-5-3	实验原理	69
2-8-6	实验报告要求	52	3-5-4	实验内容	69
2-8-7	实验小资料	52	3-5-5	实验注意事项	70
第三部分	电子技术实验	54	3-5-6	实验报告要求	70
3-1	常用电子仪器的使用	54	3-5-7	实验思考题	70
3-1-1	实验目的	54	3-6	用 SSI 构成的组合逻辑电路的分析、 设计与调试	70
3-1-2	实验仪器设备	54	3-6-1	实验目的	70
3-1-3	实验仪器设备	57	3-6-2	实验元仪器设备	70
3-1-4	实验内容及步骤	58	3-6-3	实验原理	70
3-1-5	实验注意事项	58	3-6-4	实验内容及步骤	71
3-1-6	实验思考题	58	3-6-5	实验注意事项	72
3-2	整流、滤波与稳压电路的研究	58	3-6-6	实验报告要求	72
3-2-1	实验目的	58	3-7	集成触发器	72
3-2-2	实验仪器设备	58	3-7-1	实验目的	72
3-2-3	实验原理	59	3-7-2	实验仪器设备	72
3-2-4	实验内容及步骤	59	3-7-3	实验原理	72
3-2-5	实验注意事项	59	3-7-4	实验内容	73
3-2-6	实验报告要求	59	3-7-5	实验注意事项	74
3-2-7	实验思考题	60	3-7-6	实验报告要求	74
3-3	单级共射放大电路	60	3-8	计数器和寄存器	74
3-3-1	实验目的	60	3-8-1	实验目的	74
3-3-2	实验仪器设备	60	3-8-2	实验仪器设备	74
3-3-3	实验原理	60	3-8-3	实验原理	74
3-3-4	实验内容及步骤	62	3-8-4	实验内容及步骤	77
3-3-5	实验注意事项	63	3-8-5	实验注意事项	77
3-3-6	实验报告要求	64	3-8-6	实验报告要求	77
3-3-7	实验思考题	64	3-9	555 集成定时器及应用	77
3-4	基本运算电路	64	3-9-1	实验目的	77
3-4-1	实验目的	64	3-9-2	实验仪器设备	78
3-4-2	实验仪器设备	64			

3-9-3 实验原理	78	八、实验报告要求	93
3-9-4 实验内容及步骤	80	实验 2-8 三相异步电动机控制电路设计	94
3-9-5 实验注意事项	81	一、实验目的	94
3-9-6 实验报告要求	81	二、实验原理(简述实验原理,绘制 电路图)	94
3-10 智力竞赛抢答器	81	三、实验内容及步骤	94
3-10-1 实验目的	81	四、实验注意事项	95
3-10-2 实验仪器设备	81	五、实验思考题	95
3-10-3 实验内容	81	六、实验报告要求	95
第四部分 实验报告页	83	实验 3-2 整流、滤波与稳压电路的研究	96
实验 2-2 叠加定理	83	一、实验目的	96
一、实验目的	83	二、实验原理	96
二、实验原理(简述实验原理,绘制 电路图)	83	三、实验内容及步骤	96
三、实验内容及步骤	83	四、实验注意事项	97
四、实验原始数据记录	84	五、实验原始数据记录	97
五、实验注意事项	84	六、实验数据整理	99
六、实验数据整理	85	七、实验思考题	98
七、实验思考题	85	实验 3-4 基本运算电路	99
实验 2-6 功率因数的提高	86	一、实验目的	99
一、实验目的	86	二、实验原理(简述实验原理,绘制 电路图)	99
二、实验原理(简述实验原理,绘制 电路图)	86	三、实验内容及步骤	99
三、实验内容及步骤	86	四、实验原始数据记录	100
四、实验原始数据记录	87	五、实验注意事项	100
五、实验注意事项	87	六、实验数据整理	100
六、实验数据整理	88	七、实验报告要求	101
七、实验思考题	88	实验 3-6 用 SSI 构成的组合逻辑电路的分 析、设计与调试	102
八、实验报告要求	89	一、实验目的	102
实验 2-7 三相电路的电压、电流和功率的 测量	90	二、设计方案	102
一、实验目的	90	三、实验内容及步骤	103
二、实验原理(简述实验原理,绘制 电路图)	90	四、实验原始数据记录	103
三、实验内容及步骤	91	五、实验注意事项	103
四、实验原始数据记录	91	六、实验思考题	104
五、实验注意事项	92	实验 3-8 计数器和寄存器	105
六、实验数据整理	92	一、实验目的	105
七、实验思考题	93	二、计数器	105
		三、寄存器	106

四、实验注意事项	106	八、实验报告要求	110
五、实验思考题	107	实验名称	111
选做实验表	108	一、实验目的	111
实验名称	108	二、实验原理（简述实验原理，绘制 电路图）	111
一、实验目的	108	三、实验内容及步骤	112
二、实验原理（简述实验原理，绘制 电路图）	108	四、实验原始数据记录	112
三、实验内容及步骤	109	五、实验注意事项	112
四、实验原始数据记录	109	六、实验数据整理	112
五、实验注意事项	109	七、实验思考题	113
六、实验数据整理	109	八、实验报告要求	113
七、实验思考题	110		

第一部分 电工学实验预备知识

1-1 电工学实验守则

1-1-1 电工学实验课的作用

实验课是高等教育的一个重要教学环节、是理论联系实际的重要手段。通过实验巩固所学的理论知识，训练实验技能，培养学生实际工作能力。对于电工学实验课，应通过实验达到以下目的：

1. 培养学生实事求是，一丝不苟，三严（严格、严密、严肃）的科学态度，养成良好的电工实验习惯和作风。
2. 训练学生基本的实验技能，如正确使用常见的电工、电子仪器、仪表，掌握一些基本的电工测试技术，试验方法及数据分析处理方法。
3. 培养学生通过实验来观察和研究基本电磁现象及规律的能力，以巩固和扩展所学的理论知识。

1-1-2 学生实验守则

1. 实验课前要认真预习实验指导书，明确实验目的与要求，并结合实验原理复习有关理论知识，了解实验方法和步骤，做好必要的准备工作。如：做出预习报告、画出数据记录表格等；认真思考并解答预习思考题。
2. 学习实验室有关规则，按时到达实验室，不得擅自旷课、迟到、早退。进入实验室，要保持室内整洁和安静。
3. 严格遵守实验室的有关规定和仪器设备的操作规程，爱护仪器设备，出现问题应立即报告指导教师，不得自行处理，不得随意挪用与本次实验无关的设备及实验室的其他仪器设备。凡损坏仪器设备者应填写损失单，写出书面事故报告，并按规定进行赔偿。
4. 接线可按先串联后并联的原则，先接无源部分，再接电源部分。两者之间必须经过开关时，必须将所有的电源开关断开，并将可调设备的旋钮，手柄置于最安全的位置。
5. 实验进行中要胆大心细，一丝不苟。实验电路走线、布线应简洁明了、便于检查和测量。接完线路，应先自行检查，再请老师复查后方能接通电源。改接电路，必须先切断电源。
6. 实验时要注意：手合电源，眼观全局，先看现象，再读数据。保证人身和设备安全，发生事故或出现异常现象，应立即切断电源，保护现场并报告教师处理。
7. 认真观察实验现象，实事求是，所有实验测量数据应记在原始记录表上，数据记录尽量完整、清晰，力求表格化，使阅读者能够一目了然。
8. 读数前要弄清仪表的量程及刻度，读数时注意姿势正确，要求“眼、针、影成一线”。

注意仪表指针位置，及时变换量程使指针指示于误差最小的范围内，变换量程时一般要在切断电源情况下操作。

9. 实验报告上不得随意涂改，绘制表格和曲线要求用尺子或绘图工具，锻炼自己的技术报告书写能力，培养工程意识。

10. 完成实验后，先自行核对实验数据的完整性和合理性，再交给指导教师审阅后方可拆除实验线路（注意要先切断电源后拆线），并将仪器设备、导线、元件整理归位，做好台面及实验环境的清洁和整理工作。

1-1-3 实验报告手册书写要求

实验报告要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出来，要求文理通顺、简明扼要、字迹工整、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。一般包括以下几项：

1. 实验目的；
2. 实验仪器设备；
3. 实验原理：主要是画出实验电路图，对特殊的实验方法加以说明，对一般的方法、原理可简单叙述，不要照抄指导书；
4. 实验内容及步骤：写出具体的实验步骤，将测量数据记录表格中；
5. 实验注意事项；
6. 数据处理：包括实验数据及计算结果的整理、分析、误差原因的估计等；
7. 实验思考题：回答思考问题；
8. 实验报告要求：按规定完成或回答要求内容；
9. 实验收获及体会：包括实验中发现的问题现象及事故分析，合理建议和改进意见。

报告中的所有图表、曲线均按工程化要求绘制。波形曲线比例要适中，坐标轴上应注明物理量的符号和单位。

实验报告一定要遵照教师规定的时间按时上交，经教师批改、登记后，统一放在实验室进行保管，以便于教学评估检查或有关人员查询。学生需要参考时，可向实验室提出借用。

1-1-4 实验报告的评分标准

实验报告评分一般实行等级制，也可以实行百分制。具体评分标准如下：

1. 预习报告（10分）

- （1）明确实验目的；
- （2）熟悉实验原理；
- （3）画出实验电路图；
- （4）写出实验步骤及实验注意事项。

注：无预习报告者，不得参与实验，补做实验最高分为及格。

2. 实验操作（30分）

- （1）按时进实验室；
- （2）按照操作规程和步骤独立完成实验，记录原始数据；
- （3）实验完毕后关掉电源，清理桌面，保持室内整洁；
- （4）仪器设备无损坏。

注：若实验无法完成者，记录数据未经老师签字者，视同未做实验。

3. 实验报告数据处理及分析（50分）

- (1) 将实验原始测量数据重新工整地整理到实验报告指定位置；
- (2) 计算实验中重要参数的理论值；
- (3) 测绘波形，根据实验结果得出结论。

4. 写出实验心得及建议（5分）

5. 实验报告卷面（5分）

- (1) 字迹工整；
- (2) 实验电路图用工具画出；
- (3) 测绘波形最好用坐标纸。

注：实验报告不认真者，老师有权不予以批阅，成绩按零分记录。

若采用 A、B、C、D、E 级别制，换算方法如下：90~100 分为 A；80~89 分为 B；70~79 分为 C；60~69 分为 D；60 分以下为 E。其余方式参照执行。

1-2 实验测量误差概述

任何测量仪器的测得值都不可能完全准确地等于被测量的真值。在实际测量过程中，人们对于客观事物认识的局限性，测量工具不准确，测量手段不完善，受环境影响和测量工作中的疏忽等，都会使测量结果与被测量的真值在数量上存在差异，这个差异称为测量误差。随着科学技术的发展，对于测量精确度的要求越来越高，要尽量控制和减小测量误差，使测量值接近真值。所以测量工作的值取决于测量的精确程度。当测量误差超过一定限度时，由测量工作和测量结果所得出的结论将是没有意义的，甚至会给工作带来危害。因此对测量误差的控制就成为衡量测量技术水平乃至科学技术水平的一个重要方面。但是，由于误差存在的必然性与普遍性，人们只能将它控制在尽量小的范围，而不能完全消除它。

实验证明，无论选用哪种测量方法，采用何种测量仪器，其测量结果总会含有误差。即使在进行高精度的测量时，也会经常发现同一被测对象的前次测量结果与后次测量结果存在差异，用这一台仪器和用那一台仪器测量得的结果也存在差异，甚至同一位测量人员在相同的环境下，用同一台仪器进行的两次测量也存在误差，且这些误差又不一定相等，被测对象虽然只有一个，但测得的结果却往往不同。当测量方法先进，测量仪器准确时，测量的结果会更加接近被测量对象的实际状态，测试测量的误差小、准确度高。但是，任何先进的测量方法，任何准确量的误差都不等于零。或者说，只要有测量，必然有测量结果，有测量结果必然产生误差。误差自始至终存在于一切科学实验和测量的全过程之中，不含误差的测量结果是不存在的，这就是误差公理。重要的是要知道实际测量的精确程度和产生误差的原因。

研究误差的目的，归纳起来有以下几个方面。

- (1) 正确认识误差产生的原因和性质，以减少测量误差；
- (2) 正确处理测量数据，以得到接近真值的结果；
- (3) 合理地制定测量方案，组织科学实验，正确地选择测量方法和测量仪器，以便在条件允许的情况下得到理想的测量结果；
- (4) 在设计仪器时，由于理论不完善，计算时采用近似公式，忽略了微小因素的作用，

从而导致了仪器原理设计误差，它必然影响测量的准确性。因此设计时必须要用误差理论进行分析并适当控制这些误差因素，使仪器的测量准确程度达到设计要求。

可见，误差理论已经成为从事测量技术和仪器设计、制造技术的科技人员所不可缺少的重要理论知识，它同任何其他科学理论一样，将随着生产和科学技术的发展而进一步得到发展和完善，因此正确认识与处理测量误差是十分重要的。

1-2-1 测量误差的表示方法

测量误差可表示为 4 种形式。

1. 绝对误差

绝对误差定义为由测量所得的示值与真值之差，即

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

式中， ΔA ——绝对误差；

A_x ——示值，在具体应用中，示值可以用测量结果的测量值、标准量具的标称值、标准信号源的调定值和定值代替；

A_0 ——被测量的真值，由于真值的不可知性，常用约定真值和相对真值代替。绝对误差可正可负，且是一个有单位的物理量。绝对误差的负值称为修正值，也称补值，一般用 C 表示，即

$$C = -\Delta A = A_0 - A_x \quad (1-2)$$

测量仪器的修正值一般是通过计量部门检定给出。从定义不难看出，测量时利用示值与已知的修正值相加就可获得相对真值，即实际值。

2. 相对误差

相对误差定义为绝对误差与被测量真值之比，一般用百分数形式表示，即

$$\gamma_0 = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

这里真值 A_0 也用约定真值或相对真值代替。但在约定真值或相对真值无法知道时，往往用测量值（示值）代替，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

应注意，在误差比较小时， γ_0 和 γ_x 相差不大，无需区别，但在误差比较大时，两者相差悬殊，不能混淆。为了区别，通常把 γ_0 称为真值相对误差或实际值相对误差，而把 γ_x 称为示值相对误差。

在测量实践中，常常使用相对误差来表示测量的准确程度，因为它方便、直观。相对误差越小，测量的准确度就越高。

3. 引用误差

引用误差定义为绝对误差与测量仪表量程之比，用百分数表示，即

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中， γ_n ——引用误差；

A_m ——测量仪表的量程。

测量仪表各指示(刻度)值得绝对误差有正有负,有大有小。所以,确定测量仪表的准确度等级应用最大引用误差,即绝对误差的最大绝对值 $|\Delta A|_m$ 与量程之比。若用 γ_{nm} 表示最大引用误差,则有

$$\gamma_{nm} = \frac{|\Delta A|_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

国家标准 GB776—76《测量指示仪表通用技术条件》规定,电测量仪表的准确度等级指数 α 分为:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0共7级。它们的基本误差(最大引用误差)不能超过仪表准确度等级指数 α 的百分数,即

$$\gamma_{nm} \leq \alpha\% \quad (1-7)$$

依照上述规定,不难看出:电工测量仪器在使用时所产生的最大可能误差可由下式求出。

$$\Delta A_m = \pm A_m \times \alpha\% \quad (1-8)$$

$$\gamma_x = \pm (A_m/A_x) \times \alpha\% \quad (1-9)$$

引用误差是为了评价测量仪表的准确度等级而引入的,它可以较好地反映仪表的准确度,引用误差越小,仪表的准确度越高。

【例】某1.5级电压表,量程为500V,当测量值分别为 $U_1 = 500V, U_2 = 250V, U_3 = 100V$ 时,试求出测量值的(最大)绝对误差和示值相对误差。

解:根据式(1-8)可得绝对误差

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3 = \pm 500 \times 1.5\%V = \pm 7.5V$$

$$\gamma_{U_1} = \frac{\Delta U_1}{U_1} \times 100\% = (\pm 7.5/500) \times 100\% = \pm 1.5\%$$

$$\gamma_{U_2} = \frac{\Delta U_2}{U_2} \times 100\% = (\pm 7.5/250) \times 100\% = \pm 3.0\%$$

$$\gamma_{U_3} = \frac{\Delta U_3}{U_3} \times 100\% = (\pm 7.5/100) \times 100\% = \pm 7.5\%$$

由上例不难看出:测量仪表产生的示值测量误差 γ_x 不仅与所选仪表等级指数 α 有关,而且与所选仪表的量程有关。量程 A_m 和测量值 A_x 相差越小,测量准确度越高。所以,在选择仪表量程时,测量值应尽可能接近仪表满刻度值,一般不小于满刻度值的2/3。这样,测量结果的相对误差将不会超过仪表准确度等级指数百分数的1.5倍。这一结论只适用于以标度尺上量限的百分数划分仪表准确度等级的一类仪表,如电流表、电压表、功率表,而对于测量电阻的普通型电阻表是不适用的,因为电阻表的准确度等级是以标度尺长度的百分数划分的。可以证明电阻表的示值接近其中值电阻时,测量误差最小,准确度最高。

4. 容许误差

容许误差是指测量仪器在使用条件下可能产生的最大误差范围,它是衡量测量仪器质量的最重要的指标。测量仪器的准确度、稳定度等指标都可以用容许误差来表征。按 SJ943—82《电子仪器误差的一般规定》的规定,容许误差可用工作误差、固有误差、影响误差、稳定性误差来描述。

工作误差。工作误差是在额定工作条件下仪器误差极限值,即来自仪器外部的各种影响量和仪器内部的影响特性为任意可能的组合时,仪器误差可能达到的最大极限值。这种表示方式的优点是使用方便,即可利用工作误差直接估计测量结果误差的最大范围。不足的是由

工作误差估计的测量误差一般偏大。

固有误差。固有误差是当仪器的各种影响量和影响特性处于基准条件下时仪器所具有的误差。由于基准条件比较严格，所以，固有误差可以更准确地反应仪器所固有的性能，便于在相同条件下对同类仪器进行对比和校准。

影响误差。影响误差是当一个影响量处于额定使用范围内，而其他所有影响量处在基准条件时仪器所具有的误差，如频率误差、温度误差等。

稳定性误差。稳定性误差是在其他影响量和影响特性保持不变的情况下，在规定的时间内，仪器输出的最大值或最小值与其标称值的偏差。

容许误差通常用绝对误差表示。测量仪器的各刻度值的绝对误差有明显的特征：其一是在存在与示值 A_x 无关的固定值，当被测量为零时，可以发现它；其二是绝对误差随示值 A_x 线性增大。因此其具体表示方法有以下三种可供选择。

$$\Delta = \pm(A_x \alpha \% + A_m \beta \%) \quad (1-10)$$

$$\Delta = \pm(A_x \alpha \% + n \text{个字}) \quad (1-11)$$

$$\Delta = \pm(A_x \alpha \% + A_m \beta \% + n \text{个字}) \quad (1-12)$$

式中， A_x ——测量值或示值；

A_m ——量限或量程值；

α ——误差的相对项系数；

β ——固定项系数。

式(1-11)、式(1-12)主要用于数字仪表的误差表示，“ n 个字”所表示的误差值是数字仪表在给定量限下分辨力的 n 倍，即末位一个字所代表的被测量值的 n 倍。显然，这个值与数字仪表的量限和显示位数密切相关，量限不同，显示位数不同，“ n 个字”表示的电压误差是4mV，而在10V量限时，“ n 个字”表示的电压误差是40mV。通常仪器准确度等级指数由 α 与 β 之和来决定，即 $a = \alpha + \beta$ 。

1-2-2 测量误差的分类

根据误差的性质，测量误差可分为系统误差、随机误差和疏失误差三类。

1. 系统误差

在相同条件下，多次测量同一个量值时，误差的绝对值和符号保持不变，或在条件改变时，按一定规律变化的误差称为系统误差。产生这种误差的原因有以下几种：

(1) 测量仪器设计原理不完善及制作上有缺陷。如刻度的偏差，刻度盘或指针安装偏差，使用时零点偏移，安放位置不当等；

(2) 测量时的实际温度、湿度及电源电压等环境条件与仪器要求的条件不一致等；

(3) 测量方法不正确；

(4) 测量人员估计读数时，习惯偏于某一方向或有滞后倾向等原因所引起的误差。

对于在条件改变时，仍然按一个确定规律变化的误差也是系统误差。

值得指出的是，被测量通过直接测量的数据再用理论公式推算出来时，其误差也属于系统误差。例如用平均值表示测量非正弦电压进行波形换算时的定度系数为

$$K_a = \pi / 2\sqrt{2} \approx 1.11 \quad (1-13)$$

式中 π 和 $\sqrt{2}$ 均为无理数,所以取得 1.11 是一个近似值,由它计算出来的结果显然是一个近似值。因为它是由间接的计算造成的,用提高测量准确度或多次测量取平均值的方法均无效,只有用修正理论公式的方法来消除它,这是它的特殊性。但是,因为它产生的误差是有规律的,所以一般也把它归到系统误差范畴内。

系统误差的特点是,测量条件已经确定,误差就是一个确定的数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差产生的原因是多方面的,但它是规律的误差。针对其产生的根源采取一定的技术措施,可减少它的影响。例如,仪器不准时,通过校验取得修正值,即可减小系统误差。

2. 随机误差(偶然误差)

在相同条件下,多次重复测量同一个量值时,误差的绝对值和符号均以不可预定方式变化的误差称为随机误差。产生这种误差的原因有以下几类:

- (1) 测量仪器中零部件配合的不稳定或有摩擦,仪器内部器件产生噪声等;
- (2) 温度及电源电压的频繁波动,电磁场干扰,地基振动等;
- (3) 测量人员感觉器官的无规律变化,度数不稳定等原因所引起的误差均可造成随机误差,使测量值产生上下起伏的变化。

就一次测量而言,随机误差没有规律,不可预测。但是当测量次数足够多时,其总体服从统计的规律,多数情况下接近于正态分布。

随机误差的特点是:在多次测量中误差绝对值的波动有一定的界限,即具有有界性;正负误差出现的概率相同,即具有对称性。

根据以上特点,可以通过对多次的量值取算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。因此,对于随机误差可以用数理统计的方法来处理。

3. 疏失误差(粗大误差)

在一定的测量条件下,测量值明显地偏离被测量的真值所形成的误差称为疏失误差。产生这种误差的原因有以下几类:

(1) 一般情况下,它不是仪器、仪表本身所固有的,主要是由于测量过程中的疏忽大意造成的。例如测量者身体过于疲劳,缺乏经验,操作不当或工作责任心不强等原因造成读错刻度、记错读数或计算错误。这是产生疏失误差的主观原因。

(2) 由于测量条件的突然变化,如电源电压、机械冲击等引起仪器示值的改变。这是产生疏失误差的客观原因。

含有疏失误差的测量数据是对被测量的歪曲,称为坏值,一经确认应该剔除不用。

1-2-3 系统误差的消除

对于测量者,要善于找出产生系统误差的原因并采用相应的有效措施以减少误差的有害作用。它与测量对象,测量方法,仪器、仪表的选择以及测量人员的实践经验密切相关。下面介绍几种常用的减小系统误差的方法。

1. 从产生系统误差的原因采取措施

接受一项测量任务后,首先要研究被测量对象的特点,选择适合的测量方法和测量仪器、仪表,并合理选择所用仪表的精度等级和量程上限;选择符合仪表标准工作条件的测量工作环境(如温度、湿度、大气压、交流电源电压、电源工作频率、振动、电磁场干扰等),必

要时可采用稳压、恒压、恒温、恒湿、散热、防振和屏蔽接地等措施。

测量时应提高测量技术水平, 增强工作人员的责任心, 克服由主观原因所造成的误差。为避免读数或记录出错, 必要时可用数字仪表代替指针式仪表, 用打印代替人工抄写等。

总之, 在测量之前, 尽量消除产生误差的根源, 从而减小系统误差的影响。

2. 利用修正的方法来消除

修正的办法是消除或减弱系统误差的常用方法, 该方法在智能化仪表中得到了广泛应用。所谓修正的方法就是在测量前或测量过程中, 求取某类系统误差的修正值, 而在测量的数据处理过程中手动或自动地将测量读数或结果与修正值相加, 于是, 就从测量读数或结果中消除或减弱了该类系统误差。若用 C 表示某类系统误差的修正值, 用 A_x 表示测量读数或结果, 则不含该类系统误差的测量读数或结果 A 可用下式表示:

$$A = A_x + C \quad (1-14)$$

修正值的求取有以下三种途径。

(1) 从有关资料中查取。如仪器、仪表的修正值可从该表的检定证书中获取。

(2) 通过理论推导求取。如指针式电流表、电压表内阻不够小或不够大引起误差的修正值可由下式表示:

$$C_A = R_A / R_{ab} I_x \quad (1-15)$$

$$C_V = R_{ab} / R_V U_x \quad (1-16)$$

式中, C_A , C_V ——电流表、电压表读数的修正值;

R_A , R_V ——电流表、电压表量程对应的内阻;

R_{ab} ——被测网络的等效含源支路的输入端电阻;

I_x , U_x ——电流表、电压表读数的读数。

通过实验求取对影响测量读数(结果)的各种影响因素, 如温度、湿度、频率、电源电压等变化引起的系统误差, 可通过实验作出相应的修正曲线或表格, 供测量时使用。对不断变化的系统的系统误差, 如仪器的零点误差、增益误差等可采取边测量、边修正的方法解决。智能化仪表中采用的三步测量、实时校准均源于此法。

3. 利用特殊的测量方法消除

系统误差的特点是大小、方向恒定不变, 具有可预见性, 所以可用特殊的测量方法消除。

(1) 替代法。替代法是比较测量法的一种, 它是先将被测量 A_x 接在测量装置上, 调节测量装置处于某一状态, 然后用与被测量相同的同类标准量 A_N 替代 A_x , 调节标准量 A_N , 使测量装置恢复原状态, 则被测量等于调整后的标准量, 即 $A_N = A_x$ 。例如在电桥上用替代法测电阻, 先把被测电阻 R_x 接入电桥, 调节电桥比例臂 R_1 、 R_2 和比较臂 R_3 , 使电桥平衡, 则 $R_x = (R_1/R_2)R_3$ 。

显然桥臂参数的误差会影响测量结果。若以标准量电阻 R_N 代替被测 R_x 接入电桥, 调节 R_N 使电桥重新平衡, 则 $R_N = (R_1/R_2)R_3$ 。

显然 $R_x = R_N$, 且桥臂参数的误差不影响测量结果, R_x 仅取决于 R_N 的准确度等级。

可见替代法的特点是测量装置的误差不影响测量结果, 但测量装置要求必须具有一定的稳定性和灵敏度。

(2) 交换法。当某因素可能使测量结果产生单一方向的系统测量误差时,可利用交换位置或改变测量方向等方法,测量两次,并对两次的测量结果取平均值,即可大大减弱甚至抵消由此引起的系统误差。例如用交流表测量某电流时,可将电流表放置位置旋转 180° 再测,取两次测量结果的平均值,即可减弱或消除外磁场引起的系统误差。

(3) 抵消法(正负误差补偿法)。这种方法要求进行两次测量,改变测量中某一条件,如测量方向,使两次测量结果中的误差大小相等、符号相反,取两次测量值的平均值作为测量结果,即可消除系统误差。

此外,减小系统误差的方法还有很多,只要事先仔细研究,判清系统误差的属性,适当选择测量方法就能部分或大体上消除系统误差。

1-3 常用元件的识别

1-3-1 电阻、电容、电感的识别与简单测试

1. 电阻的识别与检测

(1) 电阻基础知识。

电阻参数的识读主要有标称阻值、功率以及误差。在电路原理图中,固定电阻通常用大写英文字母 R 表示,可变电阻通常用大写英文字母 W 表示,排阻通常用大写英文字母 RN 表示。电阻值大小的基本单位是欧姆 (Ω),简称欧。常用单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。电阻的额定功率是指电阻在电路中长时间连续工作而不损坏,或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率。电阻的标称阻值通常是指电阻体表面上标注的电阻值,简称阻值。国家标准规定了电阻的阻值按其精度分为两大系列,分别为 E-24 系列和 E-96 系列, E-24 系列精度为 5%, E-96 系列为 1%。还有 E12 (误差 $\pm 10\%$) 和 E6 (误差 $\pm 20\%$) 系列。

(2) 电阻的阻值表示方法。

1) 直标法。

直标法是一种常见标注方法,特别是在体积较大(功率大)的电阻器上采用。

它将该电阻器的标称阻值、误差、功率等参数直接标注在电阻器表面,如图 1-3-1 所示。

例如:电阻体上标注 20W6R8J

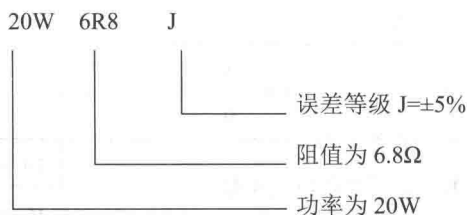


图 1-3-1 直标法

2) 文字符号法。

文字符号法就是将电阻的标称值和误差用数字和文字符号按一定的规律组合标识在电阻