

DIANGONG DIANZI SHIYAN

电工电子实验

谭会生 主编

华南理工大学出版社

电 工 电 子 实 验

谭会生 主编

华南理工大学出版社

· 广州 ·

内 容 提 要

本书是根据原国家教育委员会颁发的高等工业学校“电路”、“电子技术基础”、“电工技术(电工学Ⅰ)”、“电子技术(电工学Ⅱ)”及“电路和电子技术”等课程的教学基本要求(修订稿)而编写的。

本书分为六章和两个附录,其中第一章概括地介绍了电工电子实验所涉及的基础知识及有关要求,第二章至第六章则包括基本技能实验4个、电路实验16个、模拟电子技术实验16个、数字电子技术实验15个、电机控制实验3个,附录Ⅰ和附录Ⅱ则分别为常用仪器仪表简介和常用电路、电子元器件。本书可作为高等工科院校电路、电子技术和电工学课程的实验教材或实验指导书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验/谭会生主编. —广州:华南理工大学出版社, 2001.9
ISBN 7-5623-1748-8

Ⅰ. 电… Ⅱ. 谭… Ⅲ. ①电工技术-实验-高等学校: 专业学校-教材②电子技术-实验-高等学校: 专业学校-教材 Ⅳ. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051083 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编 510640)

发行电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: scut202@scut.edu.cn <http://www2.scut.edu.cn/press>

责任编辑: 乔 丽

印 刷 者: 广东农垦印刷厂印装

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.125 字数: 410 千

版 次: 2001 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—3 500 册

定 价: 27.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

本书是根据原国家教育委员会颁发的关于高等工业学校“电路”、“电子技术基础”、“电工技术（电工学Ⅰ）”、“电工技术（电工学Ⅱ）”及“电路和电子技术”等课程的教学基本要求（修订稿）及电工电子实验的教学改革要求编写而成。

该书分为六章和两个附录。其中第一章绪论包括“三电”实验（即电路实验、电子技术实验、电工学实验）须知、电路测量基本知识、电子电路调试、电路故障检测及实验注意事项等内容；第二章为4个基本技能实验；第三章为16个电路实验；第四章为16个模拟电子技术实验；第五章为15个数字电子技术实验；第六章为3个电机控制实验；附录Ⅰ和附录Ⅱ则分别为常用仪器仪表的简介和常用电路、电子元器件。全书共编写了54个实验，可供高等工科院校的电路、电子技术和电工学实验选用。本书中的每个实验一般在3个小时内完成，实验内容中注“*”的部分对非电类专业不作要求，而对电类专业则可视情况部分或全部选做。

该书的编写具有以下特点：

1. 在绪论中概括地介绍了“三电”实验须知、电路测量基本知识、电子电路调试、电路故障检测以及实验注意事项等内容，使读者对电工电子实验所涉及的基础知识和有关要求有个较全面的了解。

2. 将现行的电路、电子技术及电工学三门实验课程全盘考虑，统筹规划。同时在满足电类和非电类专业不同教学要求的前提下，试图体现电路通用、装置通用、要求区分的“三电合一”原则，以提高实验设备的综合利用率。

3. 本书的实验适当加强了设计性、综合性实验，在电子技术实验中加重了集成电路实验的比例。

4. 本书积聚了编者在长期的实验教学中积累的经验，以期对教学有较强的指导作用。

本书是株洲工学院电工电子实验室集体努力的结果。谭会生担任主编，并编写了第一章、第五章、第六章；张翠娥编写了第三章；陈兴国编写了第四章；刘爱莲编写了第二章及两个附录。全书由谭会生拟定编写提纲并统稿、定稿。

在本书的编写过程中，承蒙株洲工学院副院长蒋道生、院长助理张昌

凡、原教务处处长金潇明及电气工程系主任彭涛的大力支持和帮助；承蒙株洲工学院贺素良、许立诚、王湘中、龙永红、周罗轩等老师共同审阅了全书并提出了许多宝贵意见，株洲工学院电工电子实验室廖无限老师对本书的出版做了许多辅助工作，在此一并表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中肯定有错漏和不当之处，恳请广大读者提出宝贵意见和建议，以便今后修订提高。

编 者
2001年6月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 “三电”实验须知	(1)
§ 1.2 电路测量基本知识	(3)
§ 1.3 电子电路的调试	(14)
§ 1.4 电路故障检查	(18)
§ 1.5 实验注意事项	(22)
第二章 基本技能实验	(25)
实验 2.1 基本电工仪表的使用	(25)
实验 2.2 减小仪表测量误差的方法	(30)
实验 2.3 常用电子仪器的使用	(34)
实验 2.4 电路故障检查	(39)
第三章 电路实验	(42)
实验 3.1 电路元件及电源的伏安特性测定	(42)
实验 3.2 基尔霍夫定律	(46)
实验 3.3 叠加定理和互易定理	(48)
实验 3.4 戴维南定理和诺顿定理	(51)
实验 3.5 受控源特性测试	(54)
实验 3.6 交流参数的测定——三表法	(58)
实验 3.7 电路功率因数的提高	(61)
实验 3.8 交流电路中的互感	(64)
实验 3.9 三相交流电路电压、电流的测量	(67)
实验 3.10 三相电路中有功、无功功率的测量	(70)
实验 3.11 两端口网络参数的测定	(72)
实验 3.12 一阶电路的响应	(76)
实验 3.13 二阶电路的响应	(80)
实验 3.14 串联谐振电路	(83)
实验 3.15 负阻抗变换器及其应用	(86)
实验 3.16 回转器	(89)
第四章 模拟电子技术实验	(93)

实验 4.1	晶体二极管和三极管的测试	(93)
实验 4.2	单管放大电路	(98)
实验 4.3	多级放大电路及负反馈	(103)
实验 4.4	共源极场效应管放大电路	(108)
实验 4.5	差动放大电路	(113)
实验 4.6	OTL 功率放大电路	(116)
实验 4.7	集成功率放大电路	(121)
实验 4.8	LC 正弦波振荡电路	(124)
实验 4.9	文氏电桥振荡器	(127)
实验 4.10	集成运放的参数测试	(131)
实验 4.11	集成运放的基本应用 (I)	(135)
实验 4.12	集成运放的基本应用 (II)	(140)
实验 4.13	有源滤波器的设计与调试	(145)
实验 4.14	集成稳压电源	(152)
实验 4.15	晶闸管电路	(154)
实验 4.16	万用电表的设计与调试	(159)
第五章	数字电子技术实验	(164)
实验 5.1	集成逻辑门的逻辑功能及参数测试	(164)
实验 5.2	集电极开路门和三态门的使用	(168)
实验 5.3	组合逻辑电路的设计与测试	(172)
实验 5.4	译码器及应用	(174)
实验 5.5	编码器、选择器及比较器	(178)
实验 5.6	触发器及应用	(181)
实验 5.7	计数器及应用	(185)
实验 5.8	计数、译码及显示电路	(188)
实验 5.9	数码寄存器及移位寄存器	(191)
实验 5.10	利用门电路构成脉冲电路	(196)
实验 5.11	555 时基电路及应用	(198)
实验 5.12	A/D、D/A 转换器	(201)
实验 5.13	同步时序电路的设计	(206)
实验 5.14	ROM 的操作及应用	(208)
实验 5.15	数据采集系统	(211)
第六章	电机控制实验	(214)
实验 6.1	三相异步电动机的直接起动与正反转控制	(214)
实验 6.2	三相异步电动机的时间控制与行程控制	(217)
实验 6.3	三相异步电动机的 Y— Δ 降压换接起动控制	(220)

附录 I 常用仪器仪表简介.....	(223)
A. XW-1C 型电工电子实验台	(223)
B. XJ4630 慢扫描示波器.....	(225)
C. CA8020A 双踪四线示波器.....	(230)
D. 500 型万用表	(234)
E. DA-16 型晶体管毫伏表	(234)
F. SX2172 型交流毫伏表	(236)
G. D28-W 单相有功功率表	(237)
附录 II 常用的电路、电子元器件.....	(239)
A. 电阻器、电容器	(239)
B. 半导体分立元件	(245)
C. 模拟集成电路器件	(253)
D. 数字集成电路器件	(255)
参考文献.....	(266)

第一章 绪 论

§ 1.1 “三电”实验须知

一、实验目的及总体要求

“三电”实验（即电路实验、电子技术实验、电工学实验）是电路、电子技术、电工学教学中的一个重要组成部分，实验的目的有 3 个。

（1）巩固、加深并扩大所学到的理论知识，培养理论联系实际和分析、处理实际问题的能力。

（2）学习电路和电子测量基本知识，进行实验基本技能的训练。

（3）培养实事求是、严肃认真、仔细踏实的科学作风和良好的实验习惯。

通过实验，学生在实验技能方面应达到的总体要求是：

①能正确使用常用的电工仪表、电工设备及常用的电子仪器。

②能按电路图正确接线和查线，能初步分析和排除故障。

③学会查阅手册，对常用的电子元器件具有使用的基本知识。

④掌握基本的电路、电子测试方法，能准确读取实验数据，观察实验现象，测绘波形曲线。

⑤能整理分析实验数据，独立写出内容完整、条理清楚和整洁的实验报告。

二、实验的三个环节及要求

实验课一般分为课前预习、进行实验和课后做实验报告 3 个阶段。各个阶段的要求如下：

1. 课前预习

实验能否顺利进行和收到预期的效果，很大程度上取决于预习准备得是否充分。因此，要求在预习时仔细阅读实验指导书、相应的理论课内容及有关资料，明确实验的目的，了解实验的基本原理及实验电路，了解仪器仪表的使用方法，了解实验内容和步骤，清楚实验中要观察哪些现象、记录哪些数据和注意哪些事项。按要求写出预习报告。

学生只有认真做好预习后才能到实验室做实验，预习不合格者，不得进行实验。

2. 进行实验

良好的工作方法和操作程序,是使实验顺利进行的有效保证。一般实验按下列程序进行:

(1) 教师在实验前检查预习情况,讲授实验要求及注意事项。

(2) 学生到指定桌位上做实验。要求先按设备清单清点设备,整理实验台面,再按要求接好实验线路。经自查无误并请指导教师复查或同意后,合上电源进行实验(包括操作、观察现象、读取数据、记录与核查数据)。

(3) 完成全部规定的实验内容,自己核查实验数据后,经指导教师检查认可并在原始记录纸上签字后,按要求做好拆线、仪器设备的复原、清洁卫生等各项收尾工作。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结,也是工程技术报告的模拟训练,要求根据实验指导书的内容、教师的讲解内容以及实验的情况,用简明的形式将实验结果完整、真实地表达出来。报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

报告纸采用学校规定的格式,实验报告除填好报告纸上各栏外,一般应包括如下几项:

①实验目的;②实验原理(包括实验电路);③实验内容及步骤;④仪器设备和元器件;⑤注意事项;⑥实验总结(包括实验结果的分析处理、实验思考题的回答等)。

学生做完实验之后,应及时写好实验报告。

三、“三电”实验规则

(1) 严禁带电接线、拆线或改接线路。

(2) 接线完毕后,要认真复查,确信无误后,经教师检查同意,方可接通电源进行实验。

(3) 实验过程中如果发生事故,应立即关断电源,保持现场,报告指导教师。

(4) 实验完毕后,先由本人检查实验数据是否符合要求,然后再请教师检查,经教师认可后方可拆线,并将实验器材整理好。

(5) 室内仪器设备不准随意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经教师允许不得动用。没有弄懂仪表、仪器及设备的使用方法前,不得贸然使用。若损坏仪器设备,必须立即报告教师,作书面检查,责任事故要酌情赔偿。

(6) 实验要严肃认真,保持安静、整洁的学习环境。

四、实验室安全用电规则

安全用电是实验中始终需要注意的重要问题。为了做好实验,确保人身和设备的安全

全,在做“三电”实验时,必须严格遵守下列安全用电规则:

(1) 接线、改接、拆线都必须在切断电源的情况下进行,即先接线后通电,先断电再拆线。

(2) 在电路通电情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线或连接点等带电部位。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

(3) 实验中,特别是设备刚投入使用时,要随时注意仪器设备的运行情况。如发现有超量程、过热、异味、异声、冒烟、火花等,应立即断电,并请老师检查。

(4) 实验时应精神集中,同组者必须密切配合,接通电源前须通知同组同学,以防止触电事故。

(5) 电机转动时,防止导线、发辫、围巾等物品卷入。

(6) 了解有关电器设备的规格、性能及使用方法,严格按额定值使用。注意仪表的种类、量程和连接使用方法。例如,不得用电流表或万用表的电阻、电流档去测量电压,功率表的电流线圈不能并联在电路中等等。

§ 1.2 电路测量基本知识

一、测量的概念

测量是以确定被测对象量值为目的的全部操作。

通常测量结果的量值由两部分组成:数值(大小及符号)和相应的单位名称。

二、测量的分类

1. 从获得测量结果的不同方式分类可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法

(1) 直接测量法——从测量仪器上直接得到被测量值的测量方法。例如用电压表测量电压。

(2) 间接测量法——通过测量与被测量有函数关系的其他量,才能得到被测量值的测量方法。例如用伏安法测量电阻。

当被测量值不能直接测量,或测量很复杂,或采用间接测量比采用直接测量能获得更准确的结果时,采用间接测量法。

(3) 组合测量法——在测量中,若被测量值有多个,而且它们和可直接(或间接)测量的物理量有一定的函数关系,通过联立求解各函数关系式来确定被测量的数值,这种测量方式称为组合测量法。例如,为了测量电阻的温度系数,需要利用电阻值与温度之间的关系式

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中, α 和 β 为电阻的温度系数, R_{20} 为电阻在 20°C 时的电阻值, t 为测量时的摄氏温度。

为了测出电阻的 α 、 β 和 R_{20} 的值, 可以先测出在 3 个不同温度 t_1 、 t_2 和 t_3 时相应的电阻值 R_{t1} 、 R_{t2} 和 R_{t3} , 然后代入上式, 得出一组联立方程

$$R_{t1} = R_{20}[1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t2} = R_{20}[1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

$$R_{t3} = R_{20}[1 + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2]$$

解此方程组, 便可求出 α 、 β 和 R_{20} 的值。

2. 从获得测量结果的数值的方法不同, 分为直读测量法和比较测量法

(1) 直读测量法(直读法)——直接根据仪表(仪器)的读数来确定测量结果的方法。例如, 用电流表测量电流, 用功率表测量功率等。

直读测量法的特点是设备简单、操作简便, 缺点是测量准确度不高。

(2) 比较测量法——测量过程中被测量与标准量(又称度量器)直接进行比较而获得测量结果的方法。例如, 用电桥测电阻, 测量中作为标准量的标准电阻参与比较。

比较测量法的特点是测量准确、灵敏度高, 适用于精密测量, 但测量操作过程比较麻烦, 相应的测量仪器较贵。

三、测量误差

1. 测量误差的定义与分类

不论用什么测量方法, 也不论怎样进行测量, 测量的结果与被测量的实际数值总存在差别, 我们把测量结果与被测量真值之差称为测量误差。

(1) 根据误差的表示方法可分为绝对误差、相对误差和引用误差 3 类。

①绝对误差——是指测量值与被测量实际值之差, 用 Δx 表示, 即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.1)$$

式中, x 为测量值, x_0 为实际值。

绝对误差是具有大小、正负和量纲的数值。

在实际测量中, 除了绝对误差外还经常用到修正值的概念, 它的定义是与绝对误差等值反号, 即

$$c = x_0 - x \quad (1.2)$$

知道了测量值 x 和修正值 c , 由式 (1.2) 就可求出被测量的实际值 x_0 。

绝对误差的表示方法只能表示测量的近似程度, 但不能确切地反映测量的准确程度。

②相对误差——是指测量的绝对误差与被测量(约定)真值之比(用百分数表示), 用 γ 表示

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

式 (1.3) 中, 分子为绝对误差, 当分母所采用的量值不同 (真值 A_0 、实际值 x_0 、示值 x 等) 时, 相对误差又可分为相对真误差、实际相对误差和示值相对误差。

相对误差是一个比值, 其数值与被测量所取的单位无关; 能反映误差大小与方向; 能确切地反映出测量的准确程度。因此, 在测量过程中, 欲衡量测量结果的误差或评价测量结果的准确程度时, 一般都用相对误差表示。

③引用误差——是指测量指示仪表的绝对误差与其量程之比 (用百分数表示), 用 γ_n 表示

$$\gamma_n = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1.4)$$

实际测量中, 由于仪表各标度尺位置指示值的绝对误差的大小、符号不完全相等, 若取仪表标度尺工作部分所出现的最大绝对误差 Δx_m 作为式 (1.4) 中的分子, 则得到最大引用误差, 用 γ_{nm} 表示。

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1.5)$$

最大引用误差常用来表示电测量指示仪表的准确度等级, 它们之间的关系是

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \leq a\%$$

式中, a 为仪表准确度等级指数。

根据 GB7676.2 — 1987 《直接作用模拟指示电测量仪表及其附件》的规定, 电流表和电压表的准确度等级 a , 如表 1.1 所示。仪表的基本误差在标度尺工作部分的所有分度线上不应超过表 1.1 中的规定。

表 1.1

准确度等级指数 (a)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	5.0
基本误差 (%)	± 0.05	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.0	± 2.5	± 5.0

由表 1.1 可见, 准确度等级的数值越小, 允许的基本误差越小, 表示仪表的准确度越高。

式 (1.5) 说明, 在应用指示仪表进行测量时, 产生的最大绝对误差为

$$\Delta x_m \leq \pm a\% \cdot x_m \quad (1.6)$$

当用仪表测量被测量的示值为 x 时, 可能产生的最大示值相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% \leq \pm a\% \cdot \frac{x_m}{x} \times 100\% \quad (1.7)$$

因此, 根据仪表准确度等级和测得的示值, 可计算直接测量中示值最大相对误差。当被测量值愈接近仪表的量程, 测量的误差愈小。因此, 测量时, 应使测量值尽可能在仪表量程的 2/3 以上。

例 用一个量程为 30 mA、准确度为 0.5 级的直流电流表测得某电路中电流为 25.0 mA, 求测量结果的示值相对误差。

解 根据式 (1.6) 计算出仪表的最大绝对误差为

$$\Delta x_m = \pm a\% \cdot x_m = \pm 0.005 \times 30 = \pm 0.15 (\text{mA})$$

由式 (1.3) 可得其测量结果可能出现的示值最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = \pm \frac{0.15}{25.0} \times 100\% = \pm 0.6\%$$

(2) 按测量误差的性质可分为系统误差、随机误差和粗大误差 3 类。

① 系统误差。系统误差是指在同一被测量值的多次测量过程中, 保持恒定或以可预知方式变化的测量误差。

系统误差产生的原因有测量仪器、仪表不准确, 环境因素影响, 测量方法或依据的理论不完善及测量人员的不良习惯或感官不完善等。

② 随机误差。随机误差是指在同一量的多次测量过程中, 以不可预知方式变化的测量误差。

随机误差就个体而言是不确定的, 但其总体服从一定的统计规律, 最常见的是正态分布规律。

③ 粗大误差。粗大误差是指明显超出规定条件下预期的误差。

这种误差是由于实验者的粗心, 错误读取示值或使用有缺陷的计量器具, 计量器具使用不正确或环境的干扰等引起的, 例如, 用了有毛病的仪器, 读错、记错或算错测量数据等等。

2. 测量正确度、精密度和准确度

测量正确度——测量结果中系统误差大小的程度。

测量精密度——测量结果中随机误差大小的程度。指在规定条件下对被测量进行多次测量时, 所得结果之间的符合程度。测量精密度简称为精度。

测量准确度——测量结果与被测量的(约定)真值之间的一致程度。它反映了测量结果中系统误差与随机误差的综合。准确度又称精确度。

以打靶为例综合说明上述各关系。

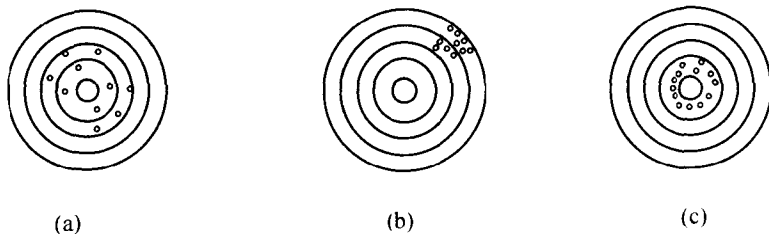


图 1.1

(a) 系统误差小, 随机误差大; (b) 系统误差大, 随机误差小; (c) 系统误差和随机误差都小

见图 1.1。凡未击中靶心的, 可视为有射击误差, 其大小用击中点至靶心的距离来

确定。图 1.1 (a) 表明系统误差小, 随机误差大, 即正确度高、精密度低; 图 1.1 (b) 说明射击的系统误差大, 而随机误差小, 即正确度低而精密度高; 图 1.1 (c) 则表明系统误差和随机误差都小, 即正确度和精密度都高, 也就是准确度高。而在靶角上的弹着点可视为粗大误差。

3. 间接测量中的误差估算

间接测量是由多次直接测量组成, 其测量的最大相对误差可按以下几种形式进行计算:

(1) 被测量为几个测量量的和 (或差):

$$y = x_1 + x_2 + x_3 \quad (1.8)$$

取微分, 得

$$dy = dx_1 + dx_2 + dx_3$$

近似地以改变量代替微分量, 即

$$\Delta y = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 \quad (1.9)$$

若将改变量看成绝对误差, 则相对误差为

$$\gamma_y = \frac{\Delta y}{y} \times 100\% = \pm \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{y} \times 100\% \quad (1.10)$$

或写成

$$\gamma_y = \frac{x_1}{y} \gamma_1 + \frac{x_2}{y} \gamma_2 + \frac{x_3}{y} \gamma_3$$

式中, $\gamma_1 = \frac{\Delta x_1}{x_1} \times 100\%$, $\gamma_2 = \frac{\Delta x_2}{x_2} \times 100\%$, $\gamma_3 = \frac{\Delta x_3}{x_3} \times 100\%$, 分别为直接测量 x_1 、 x_2 、 x_3 的相对误差。

被测量的最大相对误差为

$$\gamma_{ym} = \pm \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3|}{y} \times 100\% \quad (1.11)$$

或

$$\gamma_{ym} = \pm \left| \frac{x_1}{y} \gamma_1 \right| + \left| \frac{x_2}{y} \gamma_2 \right| + \left| \frac{x_3}{y} \gamma_3 \right| \quad (1.12)$$

例 两个电阻串联, $R_1 = 1000 \Omega$, $R_2 = 3000 \Omega$, 其相对误差均为 1%, 求串联后总的相对误差。

解 串联后总的电阻 $R = 4000 \Omega$

绝对误差 $\Delta R_1 = 1000 \times 1\% = 10 \Omega$

$\Delta R_2 = 3000 \times 1\% = 30 \Omega$

相对误差 $\gamma_{ym} = \left(\left| \frac{\Delta R_1}{R} \right| + \left| \frac{\Delta R_2}{R} \right| \right) = 1\%$

可知, 相对误差相同的电阻串联后, 总电阻的相对误差与单个电阻的相对误差相同。

(2) 被测量的量为多个测量量的积 (或商):

$$y = x_1^m \cdot x_2^n \quad (1.13)$$

式中 m 、 n 分别为 x_1 、 x_2 的指数。

对上式两边取对数, 得

$$\ln y = m \ln x_1 + n \ln x_2 \quad (1.14)$$

再微分, 得

$$\frac{dy}{y} = m \frac{dx_1}{x_1} + n \frac{dx_2}{x_2} \quad (1.15)$$

于是得被测量量的相对误差为

$$\begin{aligned} \gamma_y &= \left(\frac{dy}{y} \right) \times 100\% \\ &= m \left(\frac{dx_1}{x_1} \right) \times 100\% + n \left(\frac{dx_2}{x_2} \right) \times 100\% \\ &= m\gamma_1 + n\gamma_2 \end{aligned}$$

则被测量量的最大测量相对误差为

$$\gamma_{ym} = \pm [|m\gamma_1| + |n\gamma_2|] \quad (1.16)$$

由式 (1.16) 中可见, 当各直接测量量的相对误差大致相等时, 指数较大的量对测量结果的误差影响较大。

例 正弦交流电路中, 如图 1.2 所示用三表法 (电流表、电压表、功率表) 测量元件 A (或网络) 的功率因数值。若电流表的量程为 2A, 示值为 1.00A; 电压表量程为 150V, 示值为 102.0V, 功率表量程为 60W, 示值为 42.7W, 其准确度等级均为 0.5 级, 试计算功率因数和仪表基本误差引起的最大相对误差。

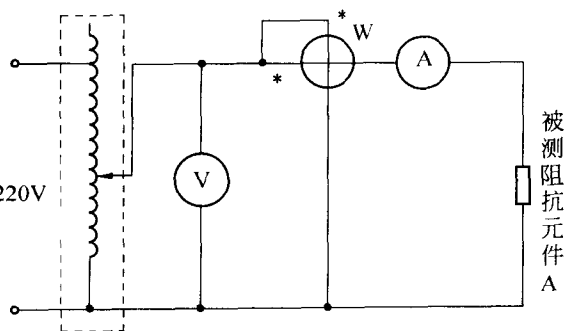


图 1.2

解 用间接测量法计算功率因数, 公式为

$$\lambda = \cos \varphi = \frac{P}{UI}$$

测量结果的最大相对误差按式 (1.16) 可推导出

$$\gamma_{\cos \varphi} = \pm (| \gamma_I | + | \gamma_U | + | \gamma_P |)$$

由测量仪表示值可计算上式中各量为

$$\gamma_U = \pm \frac{\alpha\% \times U_m}{U_r} = \pm \frac{0.5\% \times 150}{102.0} = \pm 0.74$$

$$\gamma_I = \pm \frac{0.5\% \times 2}{1.00} = \pm 1\%$$

$$\gamma_P = \pm \frac{0.5\% \times 60}{42.7} = \pm 0.70\%$$

得出正弦电路中功率因数为

$$\lambda = \cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{42.7}{102.0 \times 1.00} = 0.418$$

则测量值的最大相对误差为

$$\gamma_{\cos \varphi} = \pm (1\% + 0.74\% + 0.70\%) = \pm 2.44\%$$

4. 消除系统误差的基本方法

在测量过程中,若发现测量结果中存在系统误差,就应对测量过程进行深入的分析,以便找出产生系统误差的根源,并设法将它们消除,这样才能获得准确的结果。目前,对系统误差的消除尚无通用的方法可循,这就需要对具体问题采取不同的处理措施和方法。一般说,对系统误差的消除,在很大程度上取决于测量人员的经验、学识和技巧。下面仅介绍消除系统误差的一般原则和最基本的方法。

(1) 从误差的来源上消除系统误差:这是消除系统误差的根本方法,它要求测量人员对测量过程中可能产生系统误差的各种因素进行仔细分析,并在测量之前从根源上加以消除。例如,仪器仪表的调整误差,在实验前应正确地仔细调整好测量用的一切仪器、仪表;为了防止外磁场对仪表、仪器的干扰,应对所有实验设备进行合理的布局 and 接线等等。

(2) 用修正方法消除系统误差:这种方法是预先将测量设备、测量方法、测量环境和测量人员等因素所产生的系统误差,通过检定、理论计算及实验方法确定下来,并取其反号作出修正表格、修正曲线或修正公式。在测量时,就可根据这些表格、曲线或公式,对测量所得到的数据引入修正值,将系统误差减小到可以忽略的程度。

(3) 应用测量技术消除系统误差:在测量过程中,经多次测量,并对测量数据进行认真的、仔细的分析,往往可以发现由于某些特殊原因而引起的系统误差。这时可以对不同的情况,采取相应的特殊测量方法,来消除和削弱系统误差对测量结果的影响。

① 等值替代法。这种方法是在测量条件不变的情况下,用一个数值已知且可调的标准量来替代被测量值。在替代时,仪器的工作状态应保持不变。这样由仪器所引起的恒定系统误差将被消除。

例如,用替代法测量电阻 R_x (图 1.3),在测量时先把被测电阻 R_x 接入测量线路(开关 S 接到 1),调节可调电阻 R ,使电流表 A 的读数为某一适当数值,然后将开关 S 转接到位置 2,这时可调标准电阻 R_n 代替了 R_x ,被接入测量电路,调节 R_n 使电流表读数保持原来读数不变。如果 R 的数值及所有其他外界条件都不变,则 $R_x = R_n$ 。显然,其测量结

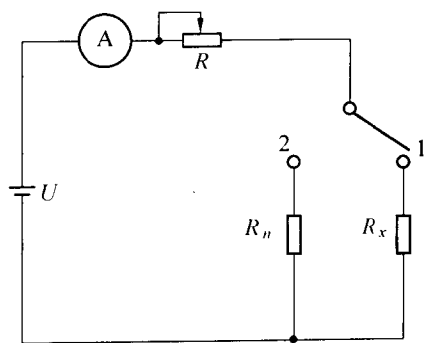


图 1.3