

面向“十二五”高等院校人才培养规划教材

D I A N L U S H I Y A N

电路实验

主 编◎陈佳新



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

电 路 实 验

主 编 陈佳新

副主编 陈炳煌 林淑华 卢光宝



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书按照教育部课程教学指导委员会关于电路课程及电路实验教学的基本要求编写而成。内容包括:电路实验的基础知识、Multisim 11 电路设计基础、直流电路实验、正弦稳态交流电路实验、动态电路及电子仪器使用实验、有源电路和二端口网络实验以及电路实验中常用的仪器、设备与元器件等。

本书力图反映近年来电路实验教学改革的成果及电工测量新技术的应用,可作为电气信息类本、专科电类专业电路课程的实验教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验/陈佳新主编. —杭州:浙江大学出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-308-10948-2

I. ①电… II. ①陈… 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 000509 号

电路实验

主编 陈佳新

责任编辑 邹小宁

文字编辑 叶梦箫

封面设计 王聪聪

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州教联文化发展有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11.5

字 数 279 千

版 次 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-10948-2

定 价 26.50 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

电路实验课程是电路课程的实践性环节。为了加强电路实验的教学,根据电类专业电路课程及电路实验教学的基本要求,结合我校对电路实验长年积累的教学经验,在原电路实验指导书的基础上,加入了电路实验教学改革成果,编写了本书。

编写本电路实验教材的指导思想是:密切理论同实验的联系,充分发挥实验这个实践教学环节的作用,注重学生在实验中动手能力与分析能力的培养,让学生由不能独立到半独立,再到基本独立地进行实验,以求实践能力的提高。

本电路实验教材的编写特点是:

1. 为了加强电路实验的教学,电路实验多单独设课,本书将电工测量技术、电路实验知识、电路实验内容、常用电工仪器仪表使用知识融为一体、自成体系,但实验课题的编排次序又紧密配合电路理论。

2. 循序渐进,由易到难。课题实验内容由较为详细到有所简略,使初学者能在教师指导下顺利进行实验,得到初步训练,到半独立地进行实验,得到进一步的训练。最后则通过学生自行设计实验、仿真实验,让学生能基本独立地进行实验,得到较全面的训练。

3. 每个课题实验,都包含有实物实验和计算机仿真实验,将两者结合在一起,对学生进行全面的实验技能和动手能力的训练,对培养学生的创新能力有很大帮助。

本书由福建工程学院的陈佳新老师担任主编,并最后统稿并定稿。书中第2章及每个计算机仿真实验内容由陈炳煌编写,第7章由林淑华编写,卢光宝参与每个计算机仿真实验内容编写,其余内容由陈佳新编写。本书力图反映近年来电路实验教学改革成果及电工测量新技术的应用。全书内容编排合理、概念准确、叙述清楚,便于自学。

本书可作为电气信息类本、专科电类专业电路课程的实验教学用书,也可供有关工程技术人员参考。在编写过程中,我们学习和借鉴了相关的参考资料,在此向所有资料的编写者们表示深深的感谢。

由于时间限制和编者学识的局限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请广大读者在使用过程中提出宝贵意见。作者的邮箱:cjx@fjut.edu.cn。

编 者

2012年10月

目 录

第1章 电路实验基础知识	1
1.1 电路实验须知	1
1.2 测量的基本知识	5
1.3 测量误差	6
1.4 数字式仪表	13
1.5 实验数据处理	15
1.6 实验设计	20
第2章 Multisim 11 电路设计基础	25
2.1 Multisim 11 的基本功能及操作	26
2.2 Multisim 11 电量测量	32
2.3 Multisim 11 基本分析法	39
第3章 直流电路实验	44
3.1 电压源、电流源及电阻元件特性	44
3.2 直流电阻的测量	45
3.3 线性有源二端网络的等效	46
3.4 故障检查的一般方法	48
3.5 实验一 认识实验及直流电路的电位测量	49
3.6 实验二 元件伏安特性的测定	53
3.7 实验三 基尔霍夫定律的研究	57
3.8 实验四 叠加定理的研究	60
3.9 实验五 戴维宁定理及负载获得最大功率条件的研究	61
3.10 实验六 电源模型的等效变换	63
第4章 正弦稳态交流电路实验	65
4.1 交流参数的测定	65
4.2 功率因数的提高	66

4.3	交流电路中的互感	68
4.4	三相电路	71
4.5	实验一 交流串并联电路	75
4.6	实验二 交流电路元件参数的测定	77
4.7	实验三 日光灯电路和功率因数提高	80
4.8	实验四 互感线圈同名端判别与参数测定	83
4.9	实验五 三相交流电路中电压及电流的测量	86
4.10	实验六 三相交流电路功率的测量	90
第5章 动态电路及电子仪器使用实验		94
5.1	元件特性的示波测量法	94
5.2	谐振电路	96
5.3	非正弦周期电流电路	99
5.4	一阶电路	100
5.5	二阶电路	104
5.6	实验一 典型电信号的观测	106
5.7	实验二 RLC 串联谐振电路	111
5.8	实验三 $RL-C$ 并联谐振电路	114
5.9	实验四 非正弦周期电流电路的研究	116
5.10	实验五 一阶动态电路响应的研究	119
5.11	实验六 二阶动态电路响应的研究	121
第6章 有源电路和二端口网络实验		125
6.1	集成运算放大器	125
6.2	受控源	126
6.3	二端口网络	129
6.4	负阻抗变换器的实现与研究	130
6.5	回转器的实现与研究	132
6.6	实验一 受控源实验研究	134
6.7	实验二 线性无源二端口网络的研究	139
6.8	实验三 负阻抗变换器及其应用	142
6.9	实验四 回转器及其应用	146
第7章 电路实验中常用的仪器、设备与元器件		151
7.1	电路实验元件箱	151
7.2	直流稳压稳流电源	152
7.3	旋转式十进电阻箱	154
7.4	电流插头插座	155

7.5 单相调压器·····	155
7.6 电容箱·····	156
7.7 日光灯电路·····	156
7.8 万用表·····	157
7.9 双踪示波器·····	161
7.10 函数信号发生器·····	166
7.11 AS2294D 双通道交流毫伏表·····	168
7.12 功率表的使用及正确接线·····	170
7.13 单相相位表的使用及正确接线·····	173
参考文献·····	175

第1章 电路实验基础知识

1.1 电路实验须知

1.1.1 电路实验的意义和目的

电路实验是电路课程教学的重要环节。它以培养和提高学生的科学实验素养,培养学生的实验能力和实验技能,理论联系实验为主要内容,是电类专业一门以实验为主的必修专业基础课。学习电路理论一定要进行电路实验,电路理论的建立就是在实验的基础上实现的。这就要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,严肃认真的工作态度,主动研究的探索精神和遵守纪律、爱护公共财产的优良品德。

通过电路实验的学习,学生主要可以获得以下几个方面的提高:

(1)掌握电测量的一般知识

通过电路实验,学生要掌握若干电工技术中常用的电工测量仪器仪表,理解电工测量仪器仪表的结构、原理,掌握其使用方法。

(2)验证理论,加深对电路理论的理解

实验是学生学习理论与实践的重要环节,是理论和实践相结合的重要场合。学生自学了或在课堂上学习了电路理论的各种概念、定律和定理,一般还是抽象的,只停留在纸面上。通过实验对实验现象的观察和对电量的测量,能够用电路理论对实验结果进行分析。学生可以直接进行验证,认识理论的正确性,从而加深对电路理论的理解,把知识掌握得更加牢固。

(3)技能训练,增强实践能力

通过实验,掌握电路实验技能,既可训练学生的实验动手能力,又能训练他们分析问题的能力,培养严肃认真的科学作风。在电路实验中,学生不但能动手做实物实验,也能做仿真实验,进一步理解计算机技术在电路仿真实验中的应用,对培养学生的创新精神和实验手段有一定的帮助。

1.1.2 实验设备

进行电路实验,必须使用各种实验设备。实验设备大体可分为电源设备、被测试设备、测量仪表、电路连接设备等。

电源设备有直流稳压电源、电池、交流电源、交流调压器、低频信号发生器等,其作用是向实验电路施加所需要的激励。

常用的被测试设备有各种电阻器(固定的、滑线可变的、十进制电阻箱等)、电容器、电容箱、电感线圈、实验用灯排、日光灯、小型变压器、元件箱等,其作用是组成实验电路以进行测试研究。常用的测量仪表有各种型号的(磁电系、电磁系、电动系、数字式等)电压表、电流表、功率表、万用表以及示波器、毫伏表等,其作用是测定电路的各种物理量,以供分析研究。

电路连接设备有电流插头、插座、探头、开关、测试棒、导线等,是为方便电路连接与测量而使用的。

通过多次的实验使用,学生必须正确熟悉(或了解)各种实验设备的原理与使用方法,包括型号、额定值、量程、接线、操作、读数等。

1.1.3 实验预习

实验是分课题进行的。每个课题的实验包括实验预习、实验进行与实验总结三个阶段。只有三个阶段都完成得好,才能称得上整个实验过程的成功。

实验预习包括理论知识准备与具体实验内容预习。

1. 理论知识准备

电路实验主要是验证性的实验,一般是先通过电路课堂教学,使学生明了电路的基础理论知识,而后才进行实验,因此进行每个实验课题之前,要求学生先了解其实验内容,复习相关的电路理论知识,否则盲目进行实验,也就没有什么意义了。

2. 实验内容预习

学生必须通读实验教材有关课题的内容,对所要进行实验的实验题目、目的、设备、内容、电路、数据表、曲线、预计结论等都要明了。有的实验课题的某些内容含有设计性质的,学生应按提示或要求把该准备的内容预先准备好。通过预习,学生必须对本课题实验做到:

- (1)目的明确,内容条目清楚。
- (2)知道电路如何连接,能画出电路图。
- (3)知道使用哪些设备,设备的规格、量程。
- (4)知道读取哪些数据,准备好数据表格。
- (5)能预计实验的结果(数据估计、曲线形状等),准备好可能用到的公式。

以上预习以实验报告的形式写出,交教师审阅。一定要防止没有预习的实验,因为没有预习的实验是无论如何做不好的;既达不到实验的目的,又拖延甚至浪费时间,还可能发生实验事故。

1.1.4 实验进行

学生从进入实验室到退出实验室是实验进行阶段,是学生进行实验的具体过程,是实验的中心环节。实施过程必须严肃、认真、细心、文明。该过程一般有以下六个步骤。

1. 实验设备的选用

设备选择:按实验课题要求,根据实验电路及测量的量,选择需用的、合适的设备。所选用的设备必须在型号、规格、量程、额定值等方面符合要求。

设备排放:依照实验电路,把设备排列放置清楚,做到整齐合理。摆放设备应尽量利用桌面面积,安排得宽松一些,以便检查与操作。仪表要放在便于读数的位置,需操作的设备要放在便于操作的位置。如果不注意设备的摆放,桌面会显得紊乱,不利于实验的操作和仪表的读数。这一步骤旨在培养学生严谨的科学研究作风。

2. 实验电路的连接

依照电路图,按从电源到被测试设备的顺序接线,但接至电源的导线应最后连接,而且电源开关必须处于断开状态。设备与仪表的极性和量程必须连接正确。

较为复杂的电路接线,一般应是先接串联回路,后接并联回路;先接主电路,后接分支电路;双回路仪表(如功率表)则先接电流回路,后接电压支路。

连接线路时必须正确、牢固,接线端钮要拧紧,并注意整齐美观。不要将导线过多地集中在某个接线端钮上,应尽量将导线分散到同电位的几个端钮上,如图1-1所示。

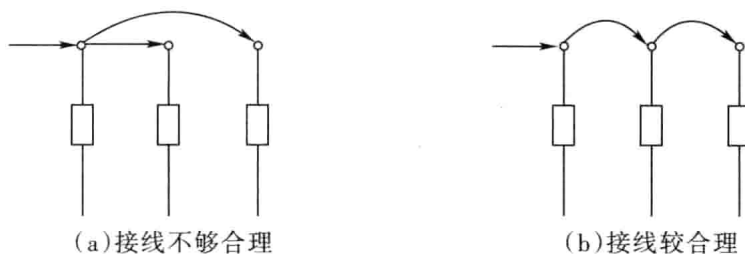


图1-1 端钮接线

按完线路必须认真进行检查,看看有无错接、漏接,尤其是否有造成电源短路的错误接线。查线先由学生自查,后由教师检查(教师交代免查者除外)无误后,方可通电实验。

3. 通电

接通电源前,必须检查电源设备输出档位与旋钮位置是否正确,操作设备的操作位置是否正确。有的电源输出要先置于零位的,就要置于零位;有的限制电阻要先置于最大位置的,就要置于最大位置;有的仪表量程选择无把握时,应先置于较大量程档;还要看看是否有裸露导体,防止误触电。

接通电源时,要密切注视各仪表显示情况。发现指针反偏转、不偏转、超偏转、抖动等现象,应立即切断电源进行检查。同样,接通电源时发现设备冒烟、发火花、发响声、有臭味等异常现象,也应立即断电检查。

4. 实验预操作

通电之后,在正式测取数据之前,应先进行一次预操作。所谓的预操作,就是按实验要求,把实验过程先操作一遍,观察各仪表数据或波形的变化情况是否在预计范围内;同时对关键测试点数据(如谐振点、极值点、拐点等)也预先寻找一下是否存在;还可以看看操作是否便当。如果预操作有问题,应及时断电检查与纠正。通过预操作既可为正式测取数据作好较充分的准备,又可防止实验事故,保证实验的成功。

5. 测取实验数据

在预操作成功的基础上,正式按实验步骤要求,进行实验操作,测取实验数据。

测取的数据应记录于事先准备好的表格内,表格内的数据不得随便涂改。个别数据确需修改时,应将原数据划去(不是涂掉),再将新的正确数据记在旁边,以便比较和分析。(正式写报告时,只需用新数据)

测取实验数据,应不断对数据进行理解与分析,鉴别其是否正确与合理。一旦发现有误(误测、误读、误记等),应重新测量更正。

对关键测试点的数据要找准测取,并在靠近该点的位置多测二、三个数据,以便分析与画曲线。

6. 拆线与整理现场

实验结束,断开电源,对所测数据自行检查无误并经教师审阅后(教师交代免审者除外),方可拆线。

拆线时应先拆接至电源的导线,后拆其他的导线。所有实验设备的操作位置应恢复到零位或规定位置。

把设备、导线整理清楚并归位后,学生方可退出实验室。

1.1.5 实验报告与实验总结

实验报告是学生进行实验总结的一种形式,既是实验课题全过程的必要组成部分,也是学生进一步巩固实验收获,培养分析能力与总结能力的一种手段。

实验报告应书写在实验报告纸上,实验报告的格式与内容如下:

实验×× ×××××××(序号题目)

一、实验目的(可参照指导书内容书写)

二、仪器设备(包括名称、型号、规格、数量、编号等,以表格形式列出)

三、实验内容或实验步骤(提要形式,含实验电路,作图要工整)

四、数据表格及实验曲线(包括测量数据与计算数据,注意有效数字;曲线用坐标纸画好,剪贴在报告纸上)

五、实验数据分析及结论(包括计算数据的计算;针对实验目的与主要内容,用实验数据验证分析,误差分析及得出结论;回答问题)

六、心得体会

实验报告应书写整齐,文字简洁,图表清楚,结论明确。实验报告是展现学生实验能力的一个重要方面。

1.1.6 实验安全

实验安全是完成实验的基本条件。学生进入电路基础实验室,是今后从事电气电子技术工作的开始,必须从一开始就注意养成确保安全的良好职业习惯。

首先是人身安全。人体触电时,就有电流通过人体。一般来说,通过人体的电流超过10mA时,就有强烈麻电感觉;超过30mA,就有危险;超过50mA即可能致命。电路基础实验室使用的交流电源为50Hz、220V与380V,对人体存在一定的危险性。所以在使

用交流电源时,要禁止用人体直接接触带电的裸露导体;接通开关通电前,要确定无人接触带电裸导体。学生一定要穿具有绝缘性能的鞋子进入实验室。对于30V以下的直流电源,虽无致命危险,但也不能随便接触带电裸导体,要养成良好的、文明的职业习惯。

其次是设备安全。要爱护国家财产,设备要轻提轻放。要掌握设备的使用方法,正确选择量程,正确接线,正确操作。电路改变或测试点改变,要看看仪表量程或档位是否相应改变。要禁止用电流表或万用表电流挡、欧姆挡测量电压。仪表指针的反偏转、超偏转,有时虽不致损坏,但往往会使仪表的准确度下降,这也是要防止的。在实验过程中如发生冒烟、火花、臭味、怪声等异常现象,应立即断电检查。

实验安全是实验技术的内容之一。具体的安全技术与注意事项内容很多,要求学生逐步掌握。每个课题的实验进行时,教师应随时给予具体的、有针对性的安全指导。学生则应自始至终把安全看做是保证实验顺利进行的先决条件,时时处处注意安全,不断学习与掌握安全知识与防护技术,确保整个实验课程的安全,并把安全观念带到后续各专业课的实验中去,乃至今后的工作中去。

1.2 测量的基本知识

1.2.1 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。通过测量,人们可以定量地认识所研究的对象,因此正确地测量很重要。

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。如测得电路电流为2.53A,则表明被测量的数值为2.53,A(安)为计量单位。

1.2.2 测量方法

测量方法的正误直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果是否有效。测量方法可从不同的角度进行分类。下面着重介绍两种分类方法。

1. 按测量结果的获得来分类

(1) 直接测量法

从测量仪器仪表上直接获得测量结果的测量方法称为直接测量法。直接测量的特点是简便,测量目的与测量对象是一致的。例如用电压表测量电压、用电桥测量电阻值等。

(2) 间接测量法

通过直接测量法测量几个与被测量有函数关系的物理量,再由函数关系求得被测量值的测量方法称为间接测量法。例如用伏安法测量电阻。

当被测量不能直接测量,或测量方式很复杂,或采用间接测量比直接测量能获得更准确的结果时,采用间接测量法。间接测量时,测量目的和测量对象是不一致的。

(3) 组合测量法

通过直接(或间接)测量法测量几个与被测量有函数关系的物理量,通过联立求解函数关系来确定被测量的最终量值,称为组合测量法。

例如,图1-2所示电路,测定线性有源一端口网络的等效参数 R_{eq} 、 U_{oc} 。通过调节 R_L ,分别测取端口电压和电流,再联立求解端口方程组即可得 R_{eq} 、 U_{oc} 的数值。

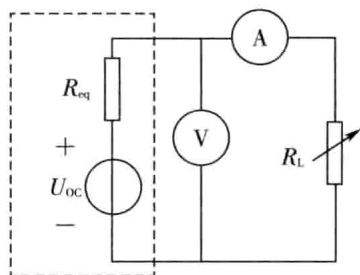


图1-2 有源一端口网络求等效参数

2. 按测量值的获得来分类

(1) 直读测量法(直读法)

直接根据仪表(仪器)的读数来确定测量值的方法称为直读法。例如用温度计测量温度、电流表测量电流、功率表测量功率等。直读测量法具有简单易行,迅速方便等特点,被广泛应用。

(2) 比较测量法

测量过程中将被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法称为比较测量法。例如用电桥测电阻,通过与作为标准量的标准电阻比较来得到测量值。比较测量法适用于精密测量,测量准确、灵敏度高。

实际测量中采用哪种方法,应根据对被测量测量的准确度要求以及实验条件是否具备等多种因素具体确定。如测量电阻,当对测量准确度要求不高时,可以用万用表直接测量或伏安法间接测量,它们都属于直读法。当要求测量准确度较高时,则用电桥法进行直接测量,它属于比较测量法。

1.3 测量误差

1.3.1 测量误差的定义

不论用什么测量方法,也不论怎样进行测量,测量的结果都不可能完全准确地等于被测量的真实值。即使是同一测试人员在相同条件下,用同一台仪器(或仪表)先后测

量两次,其测量结果也存在差异。我们把这种差异,也就是测量结果与被测量真实值(真值)之差称为测量误差。工程上常用被测量的实际值代替真值。

研究测量误差的目的,是要正确认识误差产生的原因和性质,合理地制定测量方案,正确选择测量方法和测量设备,以减小测量误差。

1.3.2 测量误差的分类

根据测量误差的性质,可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号均保持不变,或者当条件改变时,按一定规律变化的误差。系统误差产生的原因主要有:

- (1)测量仪器、仪表不准确。如刻度偏差、指针安装偏心、零点偏移等。
- (2)测量方案不正确。如环境因素不满足选用的测量仪器、仪表要求的条件。
- (3)测量人员的不良习惯。如估计读数时习惯偏向一边。

系统误差的特点是:测量条件确定下,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。

2. 随机误差

随机误差又称为偶然误差。在相同条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号均发生变化,其值时大时小,其符号时正时负,以不可预知方式变化的误差。随机误差产生的原因主要有:

- (1)电源电压的波动,测量仪器中零部件的松动等。
- (2)测量环境的影响,如空气扰动、电磁场干扰、温度扰动等。
- (3)测量人员的读数不稳定。

随机误差就个体而言是不确定的,但其总体服从统计规律,一般服从正态分布规律。因此在实际测量中,利用正负抵偿性,可以通过多次测量后取算术平均值的方法来减小随机误差对测量结果的影响。

3. 粗大误差

粗大误差又称为疏失误差。在一定的测量条件下,测量值明显地偏离预期数值的误差。粗大误差产生的原因主要是由于实验者的粗心,错误读取数据、记错数据、误操作,使用了有缺陷的计量器具或使用方法不正确等等。含有粗大误差的测量值是不可靠的,确认后应当去掉。

1.3.3 测量误差的表示方法

通常测量误差可用绝对误差、相对误差、引用误差、容许误差四种形式表示。

1. 绝对误差

绝对误差 ΔA 定义是测量值 A_x 与被测量实际值 A_0 之间的差值,即

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

绝对误差是具有大小、正负的数值,其单位与被测量的单位相同。

2. 相对误差

绝对误差的表示方法有其局限性,它不能确切地反映测量结果的准确程度。例如,测量电流, $I_1=100\text{mA}$ 时, $\Delta I_1=2\text{mA}$; $I_2=10\text{mA}$ 时, $\Delta I_2=0.4\text{mA}$ 。从绝对误差衡量,后者的绝对误差小,但不能由此得出后者测量准确度高的结论。为了便于比较测量的准确程度,提出了相对误差的概念。

相对误差 γ 的定义是测量的绝对误差与被测量的实际值之比,一般用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

如果用测量值 A_x 代替实际值 A_0 , 则有示值相对误差

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

相对误差无量纲,能反映误差大小和方向,能确切地反映了测量准确程度。因此,在实际测量过程中,一般都用相对误差来评价测量结果的准确程度。

例 1-1 测量电流, $I_1=100\text{mA}$ 时, $\Delta I_1=2\text{mA}$; $I_2=10\text{mA}$ 时, $\Delta I_2=0.4\text{mA}$ 。求示值相对误差。

解 I_1 的示值相对误差为 $\gamma_{I_1} = \frac{\Delta I_1}{I_1} \times 100\% = \frac{2}{100} \times 100\% = 2\%$

I_2 的示值相对误差为 $\gamma_{I_2} = \frac{\Delta I_2}{I_2} \times 100\% = \frac{0.4}{10} \times 100\% = 4\%$

显然,测量电流 $I_1=100\text{mA}$ 时的准确度高些。

3. 引用误差

引用误差 γ_n 的定义是绝对误差与测量仪表量程 A_m 之比,用百分数表示,即

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

实际测量中,由于指针式仪表(模拟指示仪表)各标度尺位置指示值的绝对误差的大小、符号不完全相等,若取指针式仪表标度尺工作部分所出现的最大绝对误差 $\Delta A_{\max}$ 作为式(1-4)中的分子,则得到最大引用误差,用 $\gamma_{n\max}$ 表示。

$$\gamma_{n\max} = \frac{\Delta A_{\max}}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

最大引用误差常用来表示电测量指针式仪表的准确等级指标 α , 其指标如表 1-1 所示。准确度等级指标 α 的数值越小,允许的基本误差(最大引用误差)也越小,表示仪表的准确度越高。电测量指针式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。即

$$\gamma_{n\max} \leq \alpha\% \quad (1-6)$$

式(1-5)和式(1-6)说明,在使用指针式仪表进行测量时,产生的最大绝对误差为

$$\Delta A_{\max} \leq \pm \alpha\% \times A_m \quad (1-7)$$

当被测量的示值为 A_x 时,可能产生的最大示值相对误差为

$$\gamma_{\max} \leq \pm \alpha\% \times \frac{A_m}{A_x} \times 100\% \quad (1-8)$$

由式(1-8)可见,当选择仪表后,准确度等级 α 选定,则被测量的示值 A_x 愈接近仪表的量程 A_m ,测量的相对误差就愈小。因此,测量时应合理选择仪表的量程,使被测量的示值尽可能处在仪表量程满刻度的2/3以上的区域。

表 1-1 电测量指针式仪表的准确度等级指标

准确度等级 α	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

例 1-2 用一个量程为100V、准确度等级为0.5级的直流电压表测得某电路中电压为85.0V,求测量结果的示值相对误差。

解 仪表产生的最大绝对误差为

$$\Delta U_{\max} = \pm \alpha\% \times U_m = \pm 0.5\% \times 100V = \pm 0.5V$$

测量结果可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta U_{\max}}{U_x} \times 100\% = \pm \frac{0.5}{85.0} \times 100\% = \pm 0.588\%$$

4. 容许误差

容许误差是指测量仪器在正常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重要指标。容许误差通常用绝对误差表示,表达方式

$$\Delta A = \pm (\rho\% A_x + \lambda\% A_m) \quad (1-9)$$

式中, ΔA 为被测量的绝对误差, A_x 为被测量的指示值, A_m 为测量所用量程或量程值, ρ 为误差的相对项系数, λ 为误差的固定项系数。

式(1-9)将绝对误差分为两部分,前一部分($\pm \rho\% A_x$)为可变部分,称为“读数误差”,后一部分($\pm \lambda\% A_m$)为固定部分,不随读数而变,为仪表所固有,称为“满度误差”。通常仪器的准确度等级指标 α 由 ρ 和 λ 来决定,即 $\alpha = \rho + \lambda$ 。

1.3.4 间接测量中的误差估算

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

1. 被测量为几个直接测量量的和(或差)

设直接测量的量为 $A_1, A_2, \dots, A_x$,对应的绝对误差为 $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_x$,被测量 A 为

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_x \quad (1-10)$$

则被测量 A 的相对误差为

$$\gamma_A = \frac{\Delta A}{A} \times 100\% = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_x}{A_1 + A_2 + \dots + A_x} \times 100\% \quad (1-11)$$

被测量 A 的最大相对误差为

$$\gamma_{A_{\max}} = \pm \frac{|\Delta A_1| + |\Delta A_2| + \dots + |\Delta A_x|}{A_1 + A_2 + \dots + A_x} \times 100\% \quad (1-12)$$

例 1-3 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 $R=R_1+R_2=1000\Omega+3000\Omega=4000\Omega$

各电阻的绝对误差 $\Delta R_1=1000\times 1\%=10\Omega$

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

则串联后总的相对误差 $\gamma_R=\frac{\Delta R_1+\Delta R_2}{R}\times 100\%=\frac{10+30}{4000}\times 100\%=1\%$

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. 被测量为多个测量量的积(或商)

设直接测量的量为 A_1 、 A_2 , 绝对误差为 ΔA_1 、 ΔA_2 , 对应的相对误差为

$$\gamma_1=\frac{\Delta A_1}{A_1}\times 100\% \quad \gamma_2=\frac{\Delta A_2}{A_2}\times 100\%$$

设被测量 A 为

$$A=A_1^m\times A_2^n \quad (1-13)$$

式中, m 、 n 分别为 A_1 、 A_2 的指数。

则被测量 A 的相对误差为

$$\gamma_A=m\gamma_1+n\gamma_2 \quad (1-14)$$

则被测量 A 的最大相对误差为

$$\gamma_{A\max}=\pm(m|\gamma_1|+n|\gamma_2|) \quad (1-15)$$

由式(1-15)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误差的影响较大。

例 1-4 图 1-3 所示为正弦交流电路中用三表法(电流表、电压表、功率表)测量元件(或网络)的功率因数 λ 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 λ 和仪表基本误差引起的最大相对误差。

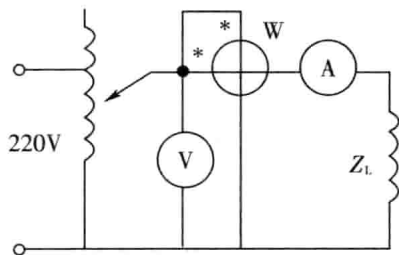


图 1-3 三表法测功率因数

解 用间接测量法计算正弦电路中功率因数, 有

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

由测量仪表示值可计算功率、电压、电流的最大相对误差为

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

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