

DIANGONG YU DIANZI JISHU SHIYAN JIAOCHENG

电工与电子技术实验教程

(第2版)

童立君 主 编

周晋君 董 华 副主编



航空工业出版社

电工与电子技术实验教程

(第2版)

童立君 主 编

周晋君 董 华 副主编

航空工业出版社
北 京

内 容 提 要

电工与电子技术实验是高校工科非电类专业及部分电类专业的一门重要的实践性课程,是整个教学环节中的重要组成部分。本书包括电工与电子技术实验必备的基础知识和实验项目两部分。实验内容包括5个模块,分别是:电路分析实验、交流电动机及控制系统实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验,以及综合型、设计型实验。每个模块都有丰富的实验项目,读者可根据实际情况进行选择。

本书既可以满足工科非电类专业电工学课程的实验教学需要,同时也可以作为部分电类专业相关课程的实验教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术实验教程/童立君主编. --2版

--北京:航空工业出版社,2018.6

ISBN 978-7-5165-1583-9

I. ①电… II. ①童… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材②电子技术—实验—高等学校—教材 IV.

①TM-33②TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第110252号

电工与电子技术实验教程(第2版)

Diangong yu Dianzi Jishu Shiyān Jiaocheng (Di-er Ban)

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2018年6月第2版

2018年6月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:10.75 字数:265千字

印数:1—5000

定价:25.00元

前 言

电工与电子技术实验是高校工科非电类及部分电类专业的一门重要实践性课程,是整个教学环节中的重要组成部分。本实验教程是南昌航空大学电工电子教学实验中心教师在多年电工电子技术理论和实验课程教学研究成果的基础上编写的,在编写过程中充分考虑了各种教学模式和不同专业类别学生的需求。实验项目既有经典验证性实验,也有提高性实验(实验内容中用※标注)和培养学生综合应用能力的综合设计型实验。经典验证性实验可以帮助学生巩固和加深理解课堂所学的知识,培养实践技能和动手能力;提高性实验有利于学生拓宽知识面;综合型、设计型实验侧重于启发学生的创新设计思想,提高学生进行系统分析和综合设计的能力。

本实验教程内容覆盖面广,除了5个模块的实验内容外,还包括了测量基础知识、常用实验仪器仪表、Multisim 电路仿真软件应用、三菱公司FX系列可编程控制器 SWOPC-FXGP/WIN_C 软件应用等。5个模块的具体实验内容包括:电路分析实验、交流电动机及控制系统实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验和综合设计型实验。每个模块都有丰富的实验项目,教师可根据实际情况适当进行选择。

本教程的第1版(刘建主编)在南昌航空大学电工与电子技术实验教学中使用了近10年,教学效果良好。随着高校本科各专业人才培养方案及教学大纲的调整,有必要进行新版教程的修订。在新版教程中,我们不仅充实丰富了实验内容,更新了数字化仪器设备的使用,并且满足了分层次教学要求,在实验项目中给出了提高性实验内容,供学生拓展知识面,提高实践能力。

参加本书修订的有童立君(绪论、第1章、第3章)、龙佳丽(第2章)、周晋君(第4章)、周瑜晗(第5章)、董华(第6章及附录)等。童立君任主编,负责全书的组织、修订和定稿,周晋君、董华协助。

我们在此感谢曾对南昌航空大学电工电子实验教学做出贡献的刘建、吕宁、吴相初等同志。本书由刘建同志主审,感谢他对本教程修订工作的支持。感谢彭登峰同志针对可编程控制器实验提出的编写建议。

电工电子技术的发展日新月异,教学改革任重道远。我们的能力有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2018年1月于南昌航空大学

目 录

绪论	1
0.1 电工与电子技术实验课的作用和要求	1
0.2 电工与电子技术实验规则	1
0.3 安全用电与安全操作规程	2
0.4 基本实验技能	3
第1章 基础知识	5
1.1 测量基本知识	5
1.2 测量误差及分析	5
1.3 测量结果误差估算	12
第2章 电路分析实验	15
2.1 万用表的使用	15
2.2 基尔霍夫定律和叠加原理验证	19
2.3 验证戴维南定理和诺顿定理	21
2.4 典型电信号的观察与测量	24
2.5 一阶 RC 电路的过渡过程	28
2.6 RLC 串联谐振电路	31
2.7 提高功率因数	35
2.8 RC 选频电路特性测试	38
2.9 三相交流电路	41
2.10 受控源特性的研究	44
第3章 交流电动机及控制系统实验	48
3.1 三相交流异步电动机的直接起停控制电路	48
3.2 三相交流异步电动机的正反转控制电路	51
3.3 三相交流异步电动机的时间控制电路	53
3.4 三相交流异步电动机 Y- Δ 换接起动 PLC 控制实验	55
第4章 模拟电子技术实验	58
4.1 单级交流放大器	58
4.2 阻容耦合多级放大器	62
4.3 差动放大电路	66
4.4 功率放大器	69
4.5 集成运算放大器的运算电路	73
4.6 文氏桥振荡器	77

4.7	直流稳压电源	79
4.8	可控整流电路	83
4.9	波形发生电路	86
4.10	有源滤波电路	89
4.11	比较器	93
4.12	精密整流电路	95
第5章 数字电子技术实验		99
5.1	TTL 集成门电路功能的测试	99
5.2	组合逻辑电路的设计	103
5.3	触发器	106
5.4	计数、译码及显示电路	109
5.5	时序逻辑电路设计	114
5.6	移位寄存器	117
5.7	集成定时器 NE555 的应用电路	119
第6章 综合型、设计型实验		123
6.1	三相交流异步电动机的延时控制和顺序控制	123
6.2	设计一个电路元件参数测试的实验	123
6.3	直流稳压电源的设计	124
6.4	彩灯控制电路设计	124
6.5	设计一个交通信号灯控制管理器	125
6.6	八路竞赛抢答器的设计	126
6.7	设计一个正弦波振荡器	126
6.8	设计一个电压测量电路	127
6.9	设计一个六十进制的译码显示电路	127
6.10	汽车尾灯控制电路设计	128
附录		131
附录 1	Multisim 使用简介	131
附录 2	SX2172 型交流毫伏表	146
附录 3	SDG1005 函数/任意波形发生器	148
附录 4	GDS-806S 数字存储示波器使用说明	150
附录 5	SDS1072CNL 示波器使用说明	152
附录 6	三菱 FX 系列 PLC 的编程软件使用指南	154
附录 7	部分常用数字集成电路引脚图	159
附录 8	MF-500 型万用表使用说明	162
附录 9	实验报告书写规范	166

绪 论

0.1 电工与电子技术实验课的作用和要求

电工与电子技术实验课是理论与实际密切联系的一门重要基础课程，是培养和训练实验技能的重要实践性环节。通过这一实践性环节的训练，能够使学习者巩固和加深理解所学的基础理论知识，培养工程意识、实践创新能力和科研能力。通过本实验课程的实践训练，学生应达到下列几个目标。

- (1) 正确使用常用电工仪表、电子仪器和电器设备；
- (2) 具备能按电路图正确接线和检查线路故障及排除故障的能力；
- (3) 能选择正确的测量方法和正确的操作；
- (4) 具备准确读取实验数据，测绘波形曲线，分析实验结果，并书写完整的实验报告的能力；
- (5) 能正确选用电子元器件，初步具备进行设计型、综合型实验的能力。
- (6) 具备一般的安全用电知识。

0.2 电工与电子技术实验规则

进行电工与电子技术实验必须遵循以下实验规则。

(1) 实验课前必须认真阅读实验指导书，明确实验目的，熟悉实验原理、方法、内容与步骤。了解实验仪器、仪表的使用方法。要认真完成预习思考题，写出实验预习报告。

(2) 实验中，连接好线路后，要认真复查，经教师检查同意后，方可接通电源。

(3) 实验中，要认真测量与记录各项实验数据，仔细观察、记录各种实验现象和规律。

(4) 实验过程中，如发现仪器设备有冒烟、焦味、异响、漏电等异常现象，应立即切断电源，保持现场，报告教师检查处理。

(5) 实验结束，预习报告和实验数据经教师检查、指导教师签字确认后方可拉下电闸拆线，整理好实验场地、器材后才能离开实验室。

(6) 实验报告是整个实验的重要组成部分，是评定实验成绩的重要依据之一，必须认真及时完成。实验报告采用学校统一的实验报告格式认真书写。实验报告所含具体内容要求如下：

- ①实验目的;
- ②实验原理;
- ③实验仪器设备;
- ④实验内容与步骤;
- ⑤实验数据及结论;
- ⑥实验总结;
- ⑦思考题。

(7) 遵守实验室规章制度, 未经指导教师同意, 严禁动用与本次实验无关的仪器设备。

(8) 保持实验室整洁、安静。

0.3 安全用电与安全操作规程

为了确保人身和仪器设备安全, 防止触电事故发生, 实验前应熟悉安全用电常识, 并在实验过程中严格遵守安全用电制度和操作规程。

(1) 安全用电

在电工与电子技术实验过程中, 需要使用电源、电子仪器设备并进行实验操作, 要尽一切可能保护操作者的人身安全。不慎触及电源或带电导体时, 电流流过人体, 将使人体受到伤害。伤害按性质可分为电击和电伤两种。电击是指电流通过人体, 造成体内器官组织局部损伤, 通电时间过长就会有生命危险。电伤是指电对人体的外部伤害, 如电弧烧伤、金属溅伤等。

大量触电事故资料的分析和实验证实, 电击对人的伤害程度与通过人体电流的大小、通电时间的长短、电流流过人体的途径、电流的频率以及人体健康状况等因素有关。通过人体的电流取决于外加电压和人体电阻, 当人体皮肤有完好的外角质层且很干燥时, 人体电阻为 $10^4 \sim 10^5 \Omega$; 当角质外层遭到破坏时, 人体电阻降至 $800 \sim 1000 \Omega$ 。如果通过人体的电流在 50mA 以上, 就有生命危险。一般说来, 人体接触 36V 以下的电压时, 通过人体的电流不致超过 50mA, 所以把 36V 的电压作为安全电压。50Hz 工频交流电是比较危险的。当人体有 1mA 工频电流流过时就有不舒服的感觉; 有 50mA 的电流流过时就可能发生痉挛, 心脏麻痹; 如果时间过长就会有生命危险。

(2) 安全操作规程

①实验室动力配电总电闸, 未经指导教师批准不能擅自合闸。

②先接线再通电源, 先断开电源后拆线。严禁带电接线、拆线、改线或插换元器件。

③接线完毕, 要认真复查电路, 并检查各实验设备实验前的准备情况, 如仪表、仪器功能开关旋钮的选择是否符合被测量对象和量程要求, 变阻器是否调到阻值最大位置上, 调压器是否调到无输出电压的位置上。

④电源合闸前要经教师 and 同组实验人员的允许。实验开始操作前应告诉同组实验人员, 组员之间须互相密切配合。

⑤接通电源后,不能用手触及电路中的金属裸露部分,不能有空甩线头现象,特别是强电实验。

⑥实验中,要随时注意监视仪器、仪表和电器设备有无异常现象,如指针反偏转、冒烟、焦糊味、保险丝熔断、过热、漏电等。一旦发现应立即断电检查,并报告教师。

0.4 基本实验技能

电工与电子技术实验操作中,需要具备的基本实验技能如下。

(1) 接线要求

①合理安排仪表元器件的位置,做到接线牢固、易于检查、操作方便、安全可靠。

②连接串联电路时,应按线路图从一端开始,顺序连接仪器、仪表和元器件;连接并联电路时,先连接好一条支路,再将其他支路并接上去,电源连接线最后连接。电机控制电路应先接主电路,再接控制电路,主电路电流大用粗导线,控制电路电流小选用细导线。

③交流信号要采取屏蔽线,连接时先将外层屏蔽接地,然后再接芯线;拆线时相反。

④在数字电路实验箱的多孔插座板上布线时,要整齐清晰,便于检查;连接线不要跨过集成电路芯片,以免妨碍更换集成块。

(2) 测量方法

首先明确被测量的性质是交流、直流、正弦还是非正弦,被测对象是电压、电流还是功率等。然后选择合适的测量方法及相应的测量仪表仪器。例如:

①电压表在测量时和被测电路并联;

②电流表在测量时必须串联在电路中;

③欧姆表必须断电后进行测量;

④尽可能选用小量程仪器和仪表,但仪器和仪表的量程要大于被测量数值。

(3) 正确使用仪表

①合理选择仪表量程。测量时,所选仪表指针偏转大于 $2/3$ 满量程时较为合适。同一量程中,指针偏转越大越准确。

②仪表量程与表盘标出的刻度一致时,可以直接读数;不一致时,可读出分刻度格数,再乘以量限与满刻度值之比进行换算。

③读取指针式仪表读数时眼睛视线应与电表刻度盘垂直、平视。对于刻度盘带镜子的仪表,应该当指针与镜中针影相重合时读取读数,以求准确。

(4) 使用仪器设备的一般方法

①了解设备的名称、铭牌、规格以及接线端的意义和作用。

②了解设备的电压额定值是否与电源电压相符合。如不符合,必须采取变压、限流或改变接法等措施,使外加电压和设备额定值相符合,并经指导教师同意后接通电源。

③了解设备使用参数的极限值。必须保证实际值小于极限值,不能超限使用。

④使用前要掌握仪器设备的使用注意事项。

⑤了解面板上各旋钮或按钮的位置和作用。对于没有注明挡级的平滑调节旋钮,应轻轻旋动,旋到尽头时,切勿大力拧动,以免损坏;严禁无意识地转动旋钮。

⑥各种交直流电压源、信号发生器的输出端不能短路。

(5) 合理选取数据点

凡曲线变化急剧的地方选点密,变化缓慢处选点疏,这样能使选取数据点少而又能真实反映客观情况。实验曲线的选点可通过测量作图了解被测量的变化趋势来确定。

第1章 基础知识

1.1 测量基本知识

1.1.1 测量的基本概念

电工与电子技术实验中总是要测量电路中的各个参数和电量。所谓测量就是把被测量与同种类的作为单位的标准量进行比较的实验过程。标准量都是根据测量单位复制成的标准实物，称为量具。它可以是测量单位的分数复制实物，也可以是测量单位整数倍的复制实物。例如，米尺是长度的量具，安培表、毫安表、微安表是电流的量具。此外为了进行较复杂的测量实验，还需要相应的仪器和技术工具，这些统称为测量设备，国际上有统一的标准实物，由国际组织保存。

1.1.2 测量方式

(1) 直接测量

人们在测量时，将被测量直接与量具进行比较，或是直接与能表示出同类型量单位的刻度进行比较而测量出被测量的结果，就叫作直接测量。例如，用尺子量长度，用伏特表测电压等。直接测量的优点是简单、方便。

(2) 间接测量

当被测量的数值不是用直接测量法直接测出，而是需要进行多次测量，并且还要通过一定的函数关系进行运算后才能得到被测量的数值，叫作间接测量。间接测量的优点是：有较高的测量准确度，因此在要求测量准确度高时，往往使用间接测量法进行测量。例如，用电桥法测量电阻等。

(3) 组合测量

若被测量有多个，它们彼此之间又具有一定的函数关系，并能以某些可测量的不同形式表示，那么可先通过直接或间接方式测量这些组合量的数值，再通过联立方程求得未知的被测量的数值。

1.2 测量误差及分析

1.2.1 绝对误差和相对误差

任何一个被测量都客观存在着一个具体的数值，这个数值称为该被测量的真值。真

值是客观存在的,但又往往是未知的。

测量过程实际上是通过人们的感觉器官和测量设备将被测量与量具进行比较的过程。由于人们感觉器官的局限性,测量方法的不完善或者测量设备不准确,以及客观环境对测量的影响等因素,使被测量的测得值总是偏离被测量的真值而产生失真,这种失真就叫作误差。

误差的大小,说明了测量准确度的高低,误差越大,测量准确度越低。测量准确度是指测得值偏离真值的程度。

根据误差的表示形式和意义可分为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差

被测量的测得值(真值的示值) X 与其真值 X_0 之间的差值 ΔX 称作绝对误差,即

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1)$$

式中, X_0 是被测量的真值,由于真值通常是未知的,人们在测量中都要采用各种测量手段确定一个近似于真值的实际值作为标准。当实际值的误差远小于测得值误差时,实际值的误差可以忽略,人们就把实际值作为近似的真值。

例1-1 某一被测量为电压,用伏特计测量得值 $U = 100\text{V}$,而用标准表精确测出实际值 $U_0 = 101.5\text{V}$,则该电压测量时的绝对误差为

$$\Delta U = U - U_0 = 100 - 101.5 = -1.5\text{V}$$

例1-2 某被测量为电阻,它的标称值 $R = 1000\Omega$,用标准仪表精确测出实际值 $R_0 = 1050\Omega$,则该电阻的绝对误差为

$$\Delta R = R - R_0 = 1000 - 1050 = -50\Omega$$

(2) 相对误差

绝对误差表明了被测量在测量中测量误差的大小和方向(符号),突出了测量误差的范围,但不能表明测量(或测量设备)的准确度。

例1-3 实际值 $u_0 = 1.5\text{V}$ 的被测电压,测得值 $u = 0.75\text{V}$ 。可见,测得值比实际值小了一半,显然测量的准确度比例1-1低得多,但它的绝对误差

$$\Delta u = u - u_0 = 0.75 - 1.5 = -0.75\text{V}$$

却比例1-1的绝对误差 $\Delta U = -1.5\text{V}$ 小了许多。

因此人们通常用每个单位量的平均绝对误差 ΔX 与实际值 X_0 的比值来评价测量(或测量设备)的准确度,这叫作相对误差(γ),并用百分数表示,即

$$\gamma(\%) = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad (1-2)$$

相对误差越小,准确度越高。相对误差只有大小、方向(符号),没有量纲。

相对误差,可以表明测量结果的准确度,还可以对测量方法进行比较好的评价,例如对例1-1、例1-2的测量方法进行比较和评价。此外还可以表明测量设备的准确度。

1.2.2 仪表的引用误差

由于被测量的实际值是大小不一的,即使仪表的绝对误差在标尺的全长上保持恒

定，当被测量的实际值愈小时，它的相对误差就愈大。当被测量实际值趋向零时，它的相对误差可以趋向无穷大。这样就很难表明仪表的准确度。在实际工作中为了划分仪表的准确度等级以供比较和选用，还常选取仪表的测量上限（标尺满刻度值） X_m 作为分母，选取可能出现的最大绝对误差 ΔX_m （绝对误差在标尺范围不可能是恒定的）作为分子，并以百分数表示。这样表示的误差称为仪表的引用误差 γ_n ，即

$$\gamma_n = \frac{\Delta X_m}{X_m} \cdot 100\% \tag{1-3}$$

式中： ΔX_m ——可能出现的最大绝对误差；
 X_m ——测量仪表刻度标尺的满刻度值。

根据 GB 7676—1987 规定，指针式仪表用引用误差表示仪表的基本误差（在规定的条件下可能出现的最大误差）。仪表各量程的引用误差不允许超出准确度等级的数值。表 1-1-1 给出了电流表、电压表的 11 个准确度等级及每个等级所对应的基本误差。

表 1-1-1 指针式仪表准确度等级对应基本误差

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
基本误差/%	±0.05	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5	±3.0	±5.0

功率表和无功功率表分为 10 个等级，分别为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.5 级。

相位表和功率因数表分为 10 个等级，分别为 0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、5.0 级。

其他如电能表及其比较仪器的准确度等级及对应的基本误差，国家另有标准规定。
应当注意的是，仪表的准确度等级绝不是测量结果的准确度。因为测量结果的准确度与被测量的实际值大小有关，根据式（1-2）可见：即使是仪表的绝对误差在全刻度范围内是均衡的（都等于 ΔX_m ），如果被测量的实际值大，则相对误差小，测量准确度高；如果被测量的实际值小，则相对误差大，测量准确度低。而实际上，仪表的绝对误差在全刻度范围内不可能是均衡的，有大、有小、有正、有负，是随机的，但一般都小于仪表的最大绝对误差 ΔX_m ，因为仪表的引用误差只是给定了工具误差的最大范围（可能出现的最大绝对误差 ΔX_m ）。只有当被测量实际值等于该量程值，并且在刻度尺量程处的实际绝对误差又等于仪表的最大绝对误差 ΔX_m 时，仪表的引用误差才正好等于被测量的最大相对误差。

因此选择量程时，应尽量选择小量程，使得指示值尽可能接近量程位置。
引用误差给出了工具误差最大的范围，是估算测量结果的依据之一。

1.2.3 测量误差的分类

人们进行测量时不可避免地会产生误差，而误差又是可以减少和部分消除的。因此我们要对误差的来源和产生原因进行分析、研究，从而找出合理的测量方法，尽可能减少或部分消除误差。按照误差的性质，误差可分为系统误差、偶然误差和粗大误差。

(1) 系统误差

系统误差是由于测试设备的不准确、环境的影响、测量方法的不完善以及测量人员生理上的习惯特点所造成的。在相同的测试条件下,多次测量同一个被测量时,误差的出现有一定的规律并趋向一个恒定值,或按一定的规律变化,所以这种误差又叫作规则误差。

(2) 偶然误差

偶然误差是在相同测试条件下,多次测量同一个被测量时出现的误差。它的特点是围绕着一个中心,时大、时小、时正、时负,没有一定的规律,它的出现完全是由于偶然的原因。例如,外界温度的偶然起伏,磁场、电场的偶然微变,电源的电压、频率的偶然波动,测试人员感觉器官的偶然变化等一些互不相干的独立因素引起的。它是随机的,所以这种误差又叫作随机误差。

(3) 粗大误差

粗大误差是多次测量时出现的、明显的、歪曲了测量结果的特大误差。它是由于测试人员的精力不集中、粗心大意、错误操作,或使用有故障的设备,或读错、记错、算错测量数据等原因所造成的,所以这种误差又叫作过失误差或疏失误差。

在实际测量中,真值是无法测得的,测得值总是存在误差。但随着测量技术的不断发展和日益完善,我们可以采取正确的测量方法来减少或部分消除各种误差,提高测量的精确度。

1.2.4 减小误差的方法

(1) 减小系统误差的方法

系统误差的大小,直接影响着测量的准确度。作为一名测试工作者,必须根据测量的准确度要求认真分析、研究实际问题,找出产生误差的原因,尽可能地减少或部分消除系统误差的影响。

根据系统误差的来源,可以分为工具误差、方法误差、环境误差和人员误差4类。

①减小工具误差的方法

a. 合理选择仪表准确度等级

工具误差是由测量设备本身的准确度等级所决定的。它是由于测量设备制造上的不准确以及内部结构和质量上的缺陷造成的。因此,首先要根据测量的要求正确选用仪表的准确度等级。

b. 正确选择量程

正确选用仪表的量程,这一点更具有实际意义。因为仪表的准确度等级是用引用误差表示的,而引用误差是以量程为分母的。

当被测量实际值小于量程时,可能出现的最大相对误差将大于仪表引用误差;当被测量实际值趋于零时,其相对误差将趋向无穷大。因此,在选择仪表量程时,只要量程略大于被测量实际值则越小越好,也就是使指针偏转越接近量程,准确度越高。

实际上,准确度相同的仪表,在不同量程时的最大绝对误差是不一样的。量程越大,其最大绝对误差也越大,这是因为指针偏转弧长的最大误差 ΔX 一定时,量程越

大,该 ΔX 所代表的数值就越大,即可能出现的最大误差越大,测量准确度也越低。

例 1-4 已知 500 型万用表直流电压挡准确度等级为 2.5 级,试计算 10V 量程与 100V 量程的最大绝对误差。

解: 根据引用误差定义,由式 (1-3) 得:

对于 10V 量程

$$\Delta X_m = X_m \cdot \gamma_n = 10 \times (\pm 2.5\%) = \pm 0.25V$$

对于 100V 量程

$$\Delta X_m = X_m \cdot \gamma_n = 100 \times (\pm 2.5\%) = \pm 2.5V$$

可见,100V 量程的最大绝对误差比 10V 量程的大 10 倍。因此选用仪表量程时,应尽可能地选用小量程。

c. 采用校正法减小工具误差的影响

准确度较高的仪表,在表盘面板或使用说明书中给出了标尺各示值的校正数据,或给出了校正曲线,或写出了校正公式。在要求准确度的场合可利用这些资料找出校正值进行误差校正。

例 1-5 示值为 0.5A 的电流,在校正表格中查得 0.5A 示值处校正值为 -0.005A。

问:被测量的实际值是多少?

解: 设实际值为 X_0 , 示值为 X , 校正值为 C 。

则根据校正值的定义,可列出表达式

$$C = X_0 - X$$

代入参数,可以得出实际值 X_0 为

$$X_0 = X + C = 0.5 - 0.005 = 0.495A$$

d. 采用替代法减小工具误差的影响

在测量过程中,记录测量指示值(指针位置),然后以一个可调节的标准量代替被测量再进行测量,测量过程只调节替代量的数值,使仪表的指针停留在原先的示值位置,这样,替代量的数值就等于被测量的数值。显然,测量的准确度只与替代量的准确度有关,只要替代量准确度等级高于仪表准确度等级,就可以减少工具误差。

e. 替代法模拟电路参数

例如模拟有源二端网络的等效电压源。先用仪表测出开路电压 U_0 , 然后调节稳压电源,使输出指示值 $E_0 = U_0$ 。显然电压表和稳压源输出指示仪表的工具误差都将影响测量准确度。

采用替代法,是先测量被模拟电路开路时的电压 U_0 , 记住指针位置;然后用该电压表检测稳压电源输出电压,调节稳压电源,使电压表指针位置与前相同,这样就消除了仪表工具误差的影响。

②减小方法误差的方法

方法误差是由于测量方法的不完善或所依据的理论计算公式的不准确,实际存在却又未能反映出来的那部分误差。例如,测量仪表的表头,都具有由漆包线制成的线圈,线圈都具有一定的电阻;此外,仪表还要满足各种量程的测量要求,需要配置各种分流电阻和倍压电阻,这些电阻就构成了仪表的内阻。而人们测量电流的方法,是将电流表

串接在被测电路中,这样就相当于在被测电路中串接了一个电阻(仪表内阻),而使被测电路的总电阻增大。显然,测得的电流值将比未串接电流表的实际值偏低。同样,人们测量电压的方法是将电压表并联在被测电路两端,这样就相当于在被测电路两端并联了一个电阻(仪表内阻),而使被测电路的电阻变小。这样所测得的电压值将比未并联电压表时的实际值偏低。

像这样由于测量方法不完善,确实存在的仪表内阻又被忽略了,给测量结果带来了误差,这部分误差就是方法误差。又如在RLC振荡电路中,测量电阻的电压时,是测量电阻 R 两端的电压。实际上被测电路中的电感线圈不仅具有电感 L ,而且具有一定的电阻 R_L ,但 R_L 上的电压未能测出,由此引起误差也是方法误差。

由上面分析可知,电流表内阻越小,电压表内阻越大,其方法误差就越小。显然仪表量程越大,其方法误差就越小。但另一方面,由于量程增大,仪表的工具误差也增大了,这时就要具体分析误差主要成分是什么,从而合理地选择量程。

方法误差来源较广,没有统一的规律可循,只能根据产生方法误差的原因,采取相应的措施,消除和减小其对测量结果的影响。

a. 换量程测量法减小方法误差

换量程测量法是一种间接测量法,它适用于消除由仪表内阻引起的方法误差。该方法是基于仪表的不同量程具有不同的内阻,因而接入电路时,通过使电路处在不同的状态,根据电路理论列出各种状态的电路方程,运用计算消去内阻,求出被测量的数值。这样就消除了仪表内阻引起的方法误差。

例1-6 使用500型万用表,测量某电路中a、b两点间的电压。若选用250V量程测量时,示值是25V;改为50V量程测量时,示值是15V。试分析误差的主要来源,试用换量程测量法测出 U_{ab} 实际值(万用表灵敏度 $20\text{k}\Omega/\text{V}$)。

解: 量程越大(内阻也越大),示值越大,显然是仪表内阻引起的方法误差,采用换量程测量法。测量对象是电压,应简化为等效电压源的测量电路。

设 E_0 为等效电压源, R_0 为等效电压源的内阻, R_v 为仪表内阻。

列电路方程:

用250V量程测量时

$$E_0 = U_1 + \frac{U_1}{R_{v1}} R_0 \quad (1-4)$$

用50V量程测量时

$$E_0 = U_2 + \frac{U_2}{R_{v2}} R_0 \quad (1-5)$$

已知:250V量程 $U_1 = 25\text{V}$, $R_{v1} = 250 \times 20\text{k}\Omega/\text{V} = 5\text{M}\Omega$

50V量程 $U_2 = 15\text{V}$, $R_{v2} = 50 \times 20\text{k}\Omega/\text{V} = 1\text{M}\Omega$

代入式(1-4)、式(1-5)可得

$$E_0 = 25 + \frac{25}{5 \times 10^6} R_0$$

$$E_0 = 15 + \frac{15}{10^6} R_0$$

经计算得到:

$$E_0 = 30V$$

则 U_{ab} 的实际值是30V。

若直接测量, $U_{ab} = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_v}} \times E_0$, 若 $\frac{R_0}{R_v}$ 值越大, 则测量误差就越大。

b. 内接安培计法和外接安培计法减小方法误差

正确连接电路, 可以有效减小仪表内阻引起的方法误差。内接安培计法和外接安培计法是同时测量电压和电流时两种不同的测量电路。内接安培计法是将安培计串联在伏特计与被测电路的内侧, 外接安培计法是将安培计串联在伏特计与被测电路外侧。

内接安培计法和外接安培计法的基本原理是将被测电路的电阻, 与测量仪表的内阻, 进行比较分析, 找出产生方法误差的主要来源, 然后选取相应的测量电路, 以减小方法误差。

c. 用校正法减小方法误差

校正法是根据校正值来修正测量结果, 以提高测量准确度的方法。校正值可以从元器件、设备说明书中查得, 也可以用测量的方法对电路参数进行分析计算求得。

例如, 在 RL 串联电路中要测量网络电阻两端电压, 由于电感线圈中不仅有电感 L , 还有电阻 R_L , 而电压表只测出电阻 R 两端的电压 U , 这样线圈中的电阻 R_L 就产生了方法误差。

线圈中的电阻 R_L 可以从说明书中查得, 或用测量的方法测得, 再根据电路参数计算出校正值。

由上例可以看出, 电感线圈电阻 R_L 两端的电压 ΔU 为

$$\Delta U = \frac{U}{R} R_L = \frac{R_L}{R} U \quad (1-6)$$

式中, ΔU 是方法误差, 也是校正值。

由此可得网络电阻两端的实际电压值 U_0 为

$$U_0 = U + \Delta U = U + \frac{R_L}{R} U = U \left(1 + \frac{R_L}{R} \right) \quad (1-7)$$

这样就消除了由 R_L 引起的方法误差。

③减小环境误差的方法

仪表的准确度等级是在规定环境下制定的。进行精密测量时, 需要严格按国家标准规定进行。在实验室测量和工业测量中, 一般要注意仪表的正确放置 (按照表盘面上标记符号的要求放置), 要远离附近的强电场、强磁场和发热源, 各仪表之间不能靠得太近, 测大电流时两导线要平行靠近。此外, 还可以将仪表旋转180°放置重测一次, 取两次测量数据的平均值以消除外界某些因素的影响。

④减小人员误差的方法

首先是精力集中, 认真细心地进行测量实验, 仪表使用前要细心调好零点。读数时, 单眼观测刻度, 视线要垂直仪表表面读取数据。精准度等级较高的仪表, 表面上大都有反光镜, 读数时要使指针与镜内影子相重合。此外, 还可以通过反复测量或换人测