

The top half of the cover features a detailed, high-resolution image of a red printed circuit board (PCB) with intricate traces and components. The background is a deep red color.

电工与电子技术 实验教程

ELECTRICIAN & 刘 建 主 编
ELECTRONIC 董 华 童立君 吕 宁 副主编
TECHNOLOGY

The bottom half of the cover has a white background with a pattern of concentric, slightly wavy circles that create a sense of depth and movement.

航空工业出版社

电工与电子技术实验教程

刘 建 主 编

董 华 童立君 吕 宁 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专业的一门重要实践性课程,是整个教学环节重要组成部分。本书包括电工与电子技术实验的基础知识和实验两部分。实验内容包括 12 个电工技术实验,8 个模拟电子技术实验,7 个数字电子技术实验,7 个综合设计性实验。读者可根据实际情况进行选择。部分实验内容可用 Multisim 等电路仿真软件进行。

本书适合于高校工科非电专业电工学课程的实验教学。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子技术实验教程/刘建主编. —北京:航空工业出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 80243 - 440 - 0

I. 电… II. 刘… 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. TM - 33 TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 014074 号

电工与电子技术实验教程 Diangong yu Dianzi Jishu Shiyan Jiaocheng

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2010 年 2 月第 1 版

2010 年 2 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092

1/16

印张: 9.75

字数: 232 千字

印数: 1—6000

定价: 18.00 元

前 言

电工与电子技术实验是高校工科非电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。本实验教程是在南昌航空大学电工电子实验中心教师多年进行课程和实验改革的基础上编写的，内容包括电工学实验必备的基础知识和电工电子实验两部分。实验中既有经典验证性实验，也有反映最新技术的综合设计性实验及硬件实验和软件实验。经典验证性实验可以帮助学生巩固、加深理解所学的知识，培养实践技能和动手能力；综合设计性实验可以培养学生面向工程问题的思维方法和设计能力。

本实验教程内容覆盖面广，包括测量知识、常用实验仪器仪表、Multisim 电路仿真软件及实验注意事项等，具体实验内容包括 12 个电工技术实验，8 个模拟电子技术实验，7 个数字电子技术实验，7 个综合设计性实验。教师可根据实际情况适当选择。部分实验内容可采用 Multisim 等电路仿真软件进行。为了反映电工电子技术的最新发展，本教程还编写了可编程控制器（PLC）实验和采用 Multisim 电路仿真软件的计算机仿真实验等反映最新技术的内容，这两类实验都是属于软件方面的设计实验。

本教程的基本实验部分在南昌航空大学使用了十多年，其间，经过两次较大的修改和补充；可编程控制器（PLC）实验和计算机仿真实验已使用了 3 年，获得了良好的教学效果。

本书由刘建主编，董华、童立君、吕宁副主编，参加编写的还有周晋军、程东方、周瑜晗、龙佳丽等。我们在此还致谢对本书做出贡献的陆秉娟、周学良、张立生、吴相初等同志，并特别感谢彭玉玲为本书的出版所给予的大力支持。本书由杨小芹主审，感谢她为本书的初稿提出了很好的意见。

由于编者水平有限，以及编写和出版时间仓促，书中难免存在错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2010 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 电工技术实验	15
实验1 万用表的使用	15
实验2 基尔霍夫定律和叠加原理验证	19
实验3 验证戴维南定理和诺顿定理	21
实验4 典型电信号的观察与测量	23
实验5 RLC 串联谐振电路	29
实验6 提高功率因数	33
实验7 RC 电路的过渡过程	36
实验8 RC 选频电路特性测试	38
实验9 三相交流电路	41
实验10 三相异步电动机的继电接触控制电路	44
实验11 三相异步电动机的时间控制电路	47
实验12 PLC 可编程控制器实验	49
第3章 模拟电子技术实验	51
实验13 单级交流放大器	51
实验14 阻容耦合多级放大器	55
实验15 差动放大电路	59
实验16 功率放大器	62
实验17 集成运算放大器的运算电路	65
实验18 文氏桥振荡器	69
实验19 直流稳压电源	72
实验20 可控整流电路	74

第 4 章 数字电子技术实验	79
实验 21 TTL 集成门电路功能的测试	79
实验 22 组合逻辑电路	82
实验 23 触发器	85
实验 24 计数、译码及显示电路	88
实验 25 时序逻辑电路设计	92
实验 26 移位寄存器	95
实验 27 集成定时器 NE555 的应用电路	98
第 5 章 设计综合性实验	102
实验 28 汽车尾灯控制电路设计	102
实验 29 三相异步电动机的延时控制和顺序控制	104
实验 30 设计一个电路元件参数测试的实验	105
实验 31 直流稳压电源的设计	105
实验 32 彩灯控制电路设计	106
实验 33 设计一个交通信号灯控制管理器	106
实验 34 八路竞赛抢答器的设计	107
附录	108
附录 1 MF - 500 型万用表使用说明	108
附录 2 Multisim2001 简介	111
附录 3 SX2172 型交流毫伏表	127
附录 4 LM1600 系列函数信号发生器	129
附录 5 CA1640 系列函数信号发生器	134
附录 6 LM4000、LM8000 双踪示波器	136
附录 7 GDS—806S 数字存储示波器使用说明	139
附录 8 三菱 FX 系列 PLC 的编程软件使用指南	140
附录 9 部分数字集成电路引脚图	145

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课程，是培养和训练实验技能重要的实践性环节。通过这一实践性环节的训练，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。通过本实验课程的训练应达到下列几点：

- (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，编写整洁的实验报告的能力。
- (5) 能正确选用电子元器件，初步具备进行设计性、综合性实验的能力。
- (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

电工与电子技术实验规则主要有以下几点：

- (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) 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签字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，必须认真及时地完成。实验报告采用统一实验报告格式认真书写，实验报告包含具体要求如下：

- ①实验目的。
- ②实验原理图。
- ③实验仪器设备。
- ④实验内容与步骤。
- ⑤实验数据及分析。
- ⑥实验总结。
- ⑦思考题。
- (7) 遵守实验室规章制度, 严禁动用与本次实验无关的仪器设备。
- (8) 保持实验室整洁和安静。

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。人体是导体, 当人体不慎触及电源或带电导体时, 电流流过人体, 以致使人受到伤害。这种伤害有两类——电击和电伤。电击是指电流通过人体, 造成体内器官组织局部损坏, 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。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, 根据研究结果, 当人体皮肤有完好的角质外层且很干燥时, 人体电阻大约为 $10^4 \sim 10^5 \Omega$ 。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。当人体如果有 1mA 工频电流流过时就有不舒服的感觉; 若有 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, 未经批准不能擅自合闸。
- ②先接线再通电源, 先断开电源后再拆线。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。如仪器和仪表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合电源闸前要经教师 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, 组员之间要互相密切配合。
- ⑤接通电源后, 不能用手触及电路中的裸露部分, 不能有空甩线头现象, 特别是强电实验中。

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、检查容易、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,顺序连接仪器和仪表;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,电源线最后连接。电机控制电路应先接主电路,再接控制支路,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;引线不要跨过集成电路,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、非正弦,被测对象是电压、电流、功率等。然后选择合适的测量方法及相应的测量仪器仪表。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欧姆表在测量时必须断电后进行测量。

④尽可能选用小量程仪器和仪表,但要大于被测量数值。

(3) 正确使用仪表

①合理选择仪表量程。测量时,如果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,可以直读;不一致时,可读出分刻度格数,再乘以量程与满刻度值之比进行换算。

③读取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——这样选取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，米尺就是长度的量具，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量单位的刻度进行比较而测量出被测量的结果来，就叫做直接测量。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才能测出的数据，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，这叫做间接测量。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的时候，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。因此由于人们感觉器官的局限性，测量方法的不完善和测量设备的不准确，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，这种失真就叫做误差。

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 $U = 100V$ ，而用标准表精确测出实际值 $U_0 = 101.5V$ ，则该电压测量时的绝对误差为：

$$\Delta U = U - U_0 = 100 - 101.5 = -1.5 (V)$$

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 $u_0 = 1.5V$ 的被测电压，测得值 $u = 0.75V$ 。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：

$$\Delta X = X - X_0 = 0.75 - 1.5 = -0.75(V) \quad (1-2)$$

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

因此人们通常用每个单位量的平均绝对误差 ΔX 来评价测量（或测量设备）的准确度，这叫做相对误差（ γ ），并用百分数表示，它等于绝对误差与实际值之比，即：

$$\gamma(\%) = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% \quad (1-3)$$

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和评价，例如对例 1-1、例 1-3 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0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：

$$\gamma_n = \frac{\Delta X_m}{X_m} \cdot 100\% \quad (1-4)$$

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。

根据国标 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 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

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和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 (1-3) 可见：即使是仪表的绝对误差在全刻度范围是均衡的（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 。因此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要产生误差，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，尽可能地减少或部分消除误差。按照误差的性质，误差可分为粗大误差、偶然误差和系统

误差。

(1) 系统误差

这种误差是由于测试设备的不准确，环境的影响，测量方法的不完善和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，所以这种误差又叫做规则误差。

(2) 偶然误差

这种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造成的。它是随机的，所以这种误差又叫做随机误差。

(3) 粗大误差

这种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，或使用有毛病的设备，或读错、记错、算错测量数据等原因所造成的。所以这种误差又叫做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，作为一个测试工作者，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四类。

①减小工具误差的方法

a. 合理选择仪表准确度等级

工具误差是由测试设备本身的准确度等级决定的。它是由于测试设备制造上的不准确和内部结构、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，选择仪表量程时，只要量程略大于被测量实际值的情况下越小越好，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 (1-4) 得:

对于 10V 量程,

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

对于 100V 量程,

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

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

c. 采用校正法减少工具误差的影响

准确度较高的仪表,在表盘面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,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 $X = 0.5\text{A}$ 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 X_0 ,示值为 X ,校正值为 C 。

则根据校正值的定义,可列出公式:

$$C = X_0 - X$$

式中: X_0 ——实际值;

X ——示值;

C ——校正值。

则可以得出实际值 X_0 :

$$X_0 = X + C = 0.5 - 0.005 = 0.495(\text{A})$$

d. 采用替代法减少工具误差的影响

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,而实际存在,却又未能反映出来的那部分误差。例如,测量仪表的表头,是由导线制成的线圈,而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,是将电流表串联在被测电路中,这样就相当于在被测电路中串联了一个电阻(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联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,仪表内阻被忽略了,但仪表内阻又确实存在,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,测量电阻上的电压时,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,消除和减少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,在接入电路时,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:

$$\text{用 } 250\text{V 量程测量时, } E_0 = U_1 + \frac{U_1}{R_{V1}} R_0 \quad \text{①}$$

$$\text{用 } 50\text{V 量程测量时, } E_0 = U_2 + \frac{U_2}{R_{V2}} R_0 \quad \text{②}$$

已知:250V 量程, $U_1 = 25\text{V}$, $R_{V1} = 250\text{V} \times 20\text{k}\Omega/\text{V} = 5\text{M}\Omega$

50V 量程, $U_2 = 15\text{V}$, $R_{V2} = 50\text{V} \times 20\text{k}\Omega/\text{V} = 1\text{M}\Omega$

$$\text{代入式①、式②得: } E_0 = 25 + \frac{25}{5 \times 10^6} R_0$$

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

由式①、②式得知：

$$E_0 = 30(\text{V})$$

则 U_{ab} 的实际值是 30V。

若直接测量， $U_{ab} = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_v}}$ ， $\frac{R_0}{R_v}$ 值越大，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，可以有效地减少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，以减少方法误差。

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 两端的电压为：

$$\Delta U = \frac{U}{R} R_L = \frac{R_L}{R} U \quad (1-5)$$

式中， ΔU 是方法误差，也是校正值。

则由式 (1-2) 可得网络电阻两端电压实际值 U_0 ：

$$U_0 = U + \Delta U = U + \frac{R_L}{R} U = U \left(1 + \frac{R_L}{R} \right) \quad (1-6)$$

这样就消除了由 R_L 引起的方法误差。

③环境误差减小方法

仪表的准确度等级是在规定的环境下制定的。进行精密测试时，需要严格按国家标准规定进行。在实验室测试和工业测试中，一般要注意仪表的正确放置（表面上有标记符号），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，还可以将仪表转 180° 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人员误差减小方法

首先是精力集中，认真细心地进行测试实验，仪表使用前要细心调好零点。读数