

山东省高等学校精品课程实验教材

电工电子一体化 实验教程 1

第三版

非电类专业适用

孟祥霓 白霄丽 翟殿棠 主编
杨雪岩 主审



中国石油大学出版社

山东省高等学校精品课程实验教材

电工电子一体化 实验教程1

第三版

非电类专业适用

孟祥霓 白霄丽 翟殿棠 主编

杨雪岩 主审

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子一体化实验教程. 1/孟祥霓, 白霄丽, 翟殿堂
主编. —3 版. —东营: 中国石油大学出版社, 2011. 1(2012. 1 重印)
非电类专业适用
ISBN 978-7-5636-3298-5

I. ①电… II. ①孟… ②白… ③翟… 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(2010)第 211719 号

书 名: 电工电子一体化实验教程 1(非电类专业适用)(第三版)
作 者: 孟祥霓 白霄丽 翟殿堂

责任编辑: 满云凤(电话 0546—8392139)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: yibian8392139@163.com

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 12.25 字数: 314 千字

版 次: 2012 年 1 月第 3 版第 2 次印刷

定 价: 18.80 元

第三版前言

Preface

本书是根据教育部制定的高等工科院校“电工技术”、“电子技术”、“电工电子学”等课程教学的基本要求,在总结电工电子多年实验教学经验的基础上,结合高等院校非电类专业本科教学大纲要求编写的实验教程。

电工与电子学是非电类专业的一门技术基础课,而实验又是该课程的重要实践环节。我们编写的《电工电子一体化实验教程1》自2006年3月出版以来,受到广大师生的好评。为了适应21世纪非电类专业实验教学和课程体系改革的需要,同时根据教育部“关于加强高等学校本科教育工作提高教学质量的若干意见”和“高等学校国家级实验教学示范中心建设标准”文件精神,并考虑到精品课程建设要求,为了加强学生的实践技能,注重培养学生分析问题、解决问题的能力,启发学生的创新意识,提高学生的综合素质,我们在总结经验的基础上对原实验教程进行了修订。

本次修订主要涉及以下几方面:

1. 在实验内容模块化、实行学分制的基础上,按照教学大纲对实验项目进行了重新整合、补充和完善。基础实验删去了“互感电路的测量”,将直流电路的“认识实验”改为“基尔霍夫定律”,新增了“元件的伏安特性测定”实验;将“门电路与组合逻辑电路”改为“门电路逻辑功能及测试”和“组合逻辑电路”;增加了设计性实验比例,将原来的“集成运算放大器的线性应用”由基础实验改为设计性实验,并补充了“集成运算放大器的非线性应用”设计性实验,编排到第4章中。使学生的知识体系更加完整,实验内容更加丰富。调整后的实验内容更能适应不同专业、不同学时和不同层次学生对实践能力和创新能力培养的要求。

2. 电子技术课程设计是培养学生综合运用所学理论知识解决实际问题能力的重要实践教学环节,学生通过查阅技术资料、电子电路设计及安装调试等过程,能够初步掌握一个完整电路设计的基本方法和技能,加深对基础理论知识的理解,培养学生的动手能力、解决问题能力和创新能力。为此,我们在教程中增编了“第6章 电子技术课程设计”。其中以“交通信号灯控制电路设计举例”为例,介绍了电子技术课程设计的要求和基本方法,并提供了几个典型的课程设计题目和设计要求。

3. 本次修订在充实实验内容的基础上,也对第二版的部分内容进行了适当调整和更正,使教材结构更加合理和人性化,使用 and 教学更加方便。另外,由于设备的更新换代,实验教材需要与之匹配。我们将上一版的“第6章 常用电工电子仪

器仪表的使用”改为第7章,并将双踪示波器一节全部重新编写,换为新型双踪示波器,以便于学生查阅和预习。

本书的第2章实验五至七及九至十九和第3、4、6、7章由孟祥霓完成;第2章实验一至三、八、二十至二十六和第4章部分实验由白霄丽完成;第1章和第2章的实验四由翟殿棠完成,第5章由杨雪岩完成。

本书由杨雪岩副教授负责组织修订和主审。杨雪岩、薛必翠、孙秀丽、姜梅香、曲朝霞、王前虹、邢宝玲、方敏、方会、张强、厉广伟、马静等老师参加了本书的修订工作。济南大学控制科学与工程学院电工电子教研中心的王炎教授和中国石油大学的刘润华教授也提出了不少宝贵意见和建议,中国石油大学出版社给予了大力支持,在此一并表示感谢。

随着电工电子技术的迅速发展和实验教学改革的不断深入,促使我们不断地完善实验教学手段和实验教材。但由于作者能力有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请兄弟院校的老师 and 读者提出批评和改进意见。

编 者

2010年12月

目 录

Contents

第 1 章 电工电子实验基础知识	(1)
1.1 电工学实验须知	(1)
1.2 实验室供电系统及安全用电	(3)
1.3 电工测量基本知识	(6)
1.4 实验故障的检查与排除方法	(8)
1.5 预习报告和实验报告的要求	(10)
第 2 章 电工电子技术基础实验	(13)
实验一 元件的伏安特性测定	(14)
实验二 基尔霍夫定律	(16)
实验三 叠加原理与戴维南定理	(18)
实验四 电源的等效变换	(22)
实验五 交流电路参数的测量	(25)
实验六 正弦交流电路 RLC 元件的阻抗频率特性	(28)
实验七 功率因数的提高	(31)
实验八 一阶电路的响应	(34)
实验九 三相交流电路	(37)
实验十 变压器及其参数的测量	(39)
实验十一 三相鼠笼式异步电动机的使用与启动控制	(42)
实验十二 三相鼠笼式异步电动机点动和正反转控制	(46)
实验十三 常用电子仪器的使用	(49)
实验十四 单级共射放大电路	(52)
实验十五 两级阻容耦合放大电路	(56)
实验十六 直流差动放大电路	(59)
实验十七 集成 RC 正弦波振荡器	(62)
实验十八 集成功率放大器	(64)
实验十九 整流滤波与稳压电路	(67)
实验二十 门电路逻辑功能及测试	(70)
实验二十一 组合逻辑电路	(73)
实验二十二 译码器与数据选择器	(75)
实验二十三 移位寄存器	(78)
实验二十四 触发器	(80)
实验二十五 时序逻辑电路	(84)
实验二十六 D/A 与 A/D 转换器	(86)
第 3 章 电工电子技术综合性实验	(91)
实验一 三相功率测量及电源相序的鉴别	(91)

实验二	两级负反馈放大电路的综合分析	(96)
实验三	多种波形信号发生器的组装与调试	(99)
实验四	串联型直流稳压电源的研究	(102)
实验五	计数、译码及显示电路的研究	(105)
实验六	直流数字电压表	(109)
第4章	电工电子技术设计性实验	(115)
4.1	电子电路设计的一般方法	(115)
4.2	电工电子设计性实验	(122)
实验一	串联谐振电路的研究	(122)
实验二	三相异步电动机的顺序控制电路设计	(125)
实验三	单级共射放大电路的设计	(126)
实验四	集成运算放大器的线性应用	(127)
实验五	集成运算放大器的非线性应用	(130)
实验六	集成 RC 正弦波振荡器的设计	(133)
实验七	组合逻辑电路设计	(135)
实验八	双音频信号发生器的设计	(137)
第5章	基于 EWB 的仿真实验	(140)
实验一	单级共射极放大电路的研究	(140)
实验二	负反馈放大电路	(144)
实验三	有源滤波电路	(146)
实验四	译码器与数据选择器的研究	(149)
实验五	MSI 同步计数器功能测试及应用	(153)
实验六	多路智力竞赛抢答器设计	(155)
第6章	电子技术课程设计	(161)
6.1	电子技术课程设计概述	(161)
6.2	交通信号灯控制电路设计举例	(162)
6.3	电子技术课程设计题目	(168)
第7章	常用电工电子仪器仪表的使用	(171)
7.1	SBL-1 型综合电工实验装置简介	(171)
7.2	AS2173D 型交流毫伏表	(176)
7.3	SP1641B 型函数信号发生器	(177)
7.4	GOS-630FC 双踪示波器	(179)
7.5	MY-65 型数字万用表	(185)
附录		(188)
参考文献		(190)

第1章

电工电子实验基础知识

1.1 电工学实验须知

电工学是实践性很强的一门技术基础课,它具有基础性、应用性、先进性和实践性的特点,实验教学是一个必不可少的重要环节。通过这一实践教学环节,不仅要求学生巩固和加深理解所学理论知识,更注重实验技能的训练,并根据理论知识指导实验,培养进行科学实验的能力。学习常用仪器仪表的使用方法;提高分析问题和解决问题的能力;学会处理实验数据、分析实验结果、编写实验报告;树立工程实际观点和严谨的科学作风。

1.1.1 电工学实验目的

通过该实验课程的训练,使学生在实验技能方面达到如下要求:

- (1) 正确使用常用电工仪表、电子仪器及其他电工设备。
- (2) 能按实验电路图正确接线和检查线路故障并完成有关实验内容。
- (3) 具备准确读取实验数据、观察实验现象、测绘波形曲线、分析实验结果的能力,并按照规范编写实验报告。
- (4) 能初步掌握阅读简单电子设备和电气设备电路图的方法。
- (5) 具有一般的安全用电知识。

1.1.2 实验要求

实验课分为课前预习、实验操作和总结报告三个环节,具体要求如下:

1. 课前预习

- (1) 认真阅读实验教材内容,明确实验目的、任务,并复习与实验内容有关的理论教材内容。
- (2) 应了解需观察的现象,应测的数据,其中哪些是自变量,哪些是因变量,哪些是可调量。
- (3) 应了解实验中所用的电源、仪表、控制设备,并要了解各种仪表、仪器的使用方法。

2. 实验操作

- (1) 分工。要求同学们轮流进行接线、查线、操作、记录等工作。
- (2) 接线。根据电路的结构特点选择合理的接线步骤。接线一般是“先串后并”、“先主后辅”、“先分后合”。要养成良好的接线习惯,走线要合理,防止短路。接线不宜过于集中在一点,在一个接线插孔接线时最好不要超过三根以上。
- (3) 查线。完成接线后,与同组同学对照电路图、认真核对并逐一检查,查线中特别要注意不许将电源短接,确认无误后方可接通电源。

(4) 实验。同组同学要注意分工配合。操作前要做到心中有数,目的明确。读数前要弄清仪表量程及刻度。对于指针式仪表要求做到“眼、针、影成一线”。数据记录要求完整、清晰,力求表格化。要合理取舍有效数字。实验过程中,如有不正常现象,应立即切断电源,保持现场,分析原因、排除故障或请指导教师协助处理。

(5) 审查。记录结果经组内审查后,请指导教师审查签字,以免遗漏数据或其他错误。

(6) 实验内容全部完成后,切断电源,整理实验器材。

3. 总结报告

总结报告是实验工作的全面总结,常见形式是实验报告(参见 1.5 节)。要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,结论明确,分析合理,讨论深入。

1.1.3 电工学实验安全须知

在进行电工实验时,要特别注意安全,稍有不慎便会造成仪器设备的损坏甚至危及人身安全,因此在做实验时要求切实遵守实验室的各项安全操作规程,以确保实验过程中的安全。

(1) 实验电路必须先经过电源开关和保险装置,方能接入电源。

(2) 不得擅自接通电源。实验电路接线完毕一定要经过仔细检查,包括同学互查和教师复查。确认无误后方可合上电源。

(3) 不能触及带电部分,遵守“先接线后合电源,先断电源后拆线”的操作程序。

(4) 电路处于运行状态时,一旦发生异常现象(发热、冒烟、焦臭、声响等)应立即断开电源,报告指导教师。然后根据现象分析问题,排除故障。

1.1.4 本课程的学习方法

实验课的学习有别于理论课。为了学好本课程,掌握一个好的学习方法,养成良好的学习习惯是必要的,同时按一定要求去做也是必要的。

实验课与其他理论课相比,具有自己的特殊性。一是受环境的限制。该环境是由实验室空间、室内设备及实验秩序构成,实验环境的好坏直接影响着实验课的开设及教学效果。二是操作性强。实验课除了面对课本和书本外,还要面对各种各样的仪器。要想完成学习任务,达到实验目的,首先要了解这些仪器的功能、特点,熟悉它们的操作规程,掌握正确的使用方法。要做到这点,同学们必须多接触仪器,通过实际操作不断积累经验,以掌握正确的使用(测量)方法和技巧。

由于上述这些特点,同学们在学习本课程时要做到:

(1) 不迟到,不缺勤,遵守实验室制定的各种规章制度。

(2) 自觉维护实验室的秩序,保持一个良好的实验环境。

(3) 要做到脑勤、手勤,既动手又动脑,要先想到后手到,避免盲目操作。

(4) 实验中要大胆细心,不断积累实践经验。

(5) 认真对待实验课的各教学环节,养成良好习惯。

实验中对大胆心细的要求是为了防止两种倾向。一是对当时仪器的使用还不太熟练时,面对着各种仪器和仪器上的各种按钮、开关、按键,感到无从下手,具有害怕心理,怕万一操作不当会损坏仪器;或者是调出了一个结果,虽不理想,但不敢进一步调整,怕把这个不理想的结果丢掉。这些都是对仪器不太熟悉、操作不太熟练的表现,此时就需要大胆地按照操作规程及

要求去进行操作、调整,以便尽快地熟悉并掌握仪器;如有困难,可在指导老师的帮助下进行。二是要细心,就是要求在仪器的调整及实验的操作过程中不要盲动,对每一步操作要有目的,对每项测量要做到心中有数,以免造成不良后果。

另外,在学习过程中还要摆正并处理好以下几个关系:

(1) 获取数据与仪器的正确使用。在实验中,获取正确的实验数据是大家都比较关心的,但掌握仪器的正确使用更为重要。如果能够正确使用仪器,就不难得到正确的实验数据;相反,如果仪器的使用方法没有真正掌握,虽本次实验可能获得正确数据,但下次不一定也能获得,现在获得了,将来并不一定能获得。

(2) 实验结果与实验方法。在对待实验结果与实验方法的关系中,应侧重实验方法的掌握。要看到所做的每个实验都是教学手段,掌握实验方法,得出某种结论和规律才是目的。每次实验取得成功固然重要,但更重要的是掌握成功的方法,不要认为得到了实验结果就算完成了实验任务。

(3) 个体表现与普遍规律。在学习仪器使用时,不可能将所有种类,所有型号的仪器一一讲述,学习器件、考察电路及研究电路特性时也是如此。因此,要善于从个体表现中总结出普遍规律,举一反三,只有这样,才能在有限的学时内掌握更多的学习内容。

(4) 一般方法与特殊情况。实验课上介绍的多为一般方法,具有普遍性和指导性。涉及具体问题时,可能会遇到特殊情况。此时如果能对所学方法灵活运用,具体问题具体分析,就会取得事半功倍的效果。

(5) 成功与失败。实验时,有时会很顺利,有时却不然。可能会走弯路或碰到这样那样的问题,甚至经过一切努力最后发现结果却是错误的。此时应认识到:目前的成功与失败并不重要,重要的是总结成功与失败的经验。实验失败了,只要认真总结经验,找出失败原因,就可以避免以后犯同样的错误。因此,对待每次实验都要实事求是,认真对待每一实验过程,记录真实的原始数据,这样才能总结出成功的经验或失败的教训,才能在成功或失败中有所收获,达到实验的真正目的。

1.2 实验室供电系统及安全用电

任何电子仪器都需要提供电源的支持,进行电工实验就更应了解清楚实验室供电系统、实验设备、有关仪器仪表的电源供电知识及一些有关安全用电的常识。实验者的人身安全以及实验仪器的安全用电都是非常重要的,必须引起高度重视。

1.2.1 人身安全

因为实验室采用 220 V/50 Hz 或 380 V/50 Hz 的交流电,所以当人体直接与电源的火线接触时就会遭到电击。一般安全电压为 36 V,超过该电压时就可能对人体造成伤害。

如何识别零线和火线呢?最简便的方法是用试电笔。试电笔是由金属探头、氖管、大电阻(大于 $1\text{ M}\Omega$)、金属尾组成。使用时只要手指与金属尾接触,金属探头放到电源插孔里即可,这样,电源从金属探头、氖管、大电阻、金属尾及人体到大地构成回路。若是火线,氖管就会发光;若是零线,氖管就不发光。使用时,一定要注意手指不能与试电笔的金属探头接触。

为了防止触电,对使用强电的仪器设备、各种用电器要经常检查电源插头有无松动,导线是否破损,外壳接地是否良好等。

1.2.2 实验室中的供电系统

学生在实验室做实验要用到多种电子仪器,这些电子仪器都是在动力电(或称“市电”)下工作的,所以了解实验室的供电系统的情况是必要的。

实验室使用的动力电是频率为 50 Hz、线电压 380 V、相电压 220 V 的三相交流电。实验室中的仪器通常采用 220 V 供电,而且是多台仪器一起使用。为了保证操作人员的人身安全,防止遭电击,需要将多台仪器的金属外壳连在一起并与大地连接,故在用电端的实验室要引入一条与大地连接良好的保护线。220 V 的交流电从配电盘分别引到各个实验台的电源接线盒上。电源接线盒上有两芯插座和三芯插座供用电器使用。按照电工操作规程要求,两芯插座与动力电的连接是左孔接零线,右孔接火线;三芯插座除了按左零右火连接之外,中间孔接的是保护地线(GND)。因此,实验室的供电系统比较确切的叫法是三相四线一地制,即三条火线、一条零线、一条保护地线,如图 1.2.1 所示。

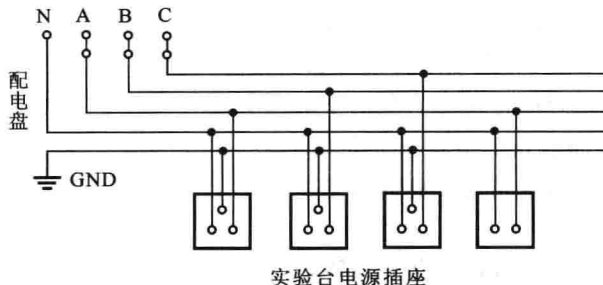


图 1.2.1 实验室的供电线路

零线与保护地线的区别:零线与保护地线虽然都与大地相连,但它们之间有着本质的区别。

(1) 接地的地点不同。零线通常在低压配电室即变压器次级端接地,而保护地线则在靠近用电器端接地,两者有一定距离。

(2) 零线中有电流,即零线电压为零,电流不为零,且零线中的电流为三条火线中电流的矢量和。保护地线在一般情况下电压为零,电流也为零,只有当漏电产生时或发生短路时,保护地线中才有电流。

(3) 零线与火线及用电负载构成回路,保护地线不与任何部分构成回路,只为仪器的操作者提供一个与大地相同的等电位。因此零线 and 保护地线虽说都与大地相接,但不能把它们视为等电位,在同一幅电路图中不能用相同的接地符号,在实验室中更不能把零线作为保护地线,了解这一点非常重要,否则会造成短路,在瞬间产生很大电流,烧毁仪器、实验电路等。

了解零线与保护地线的区别是有实际意义的,因为在实验室内,要求所有一起使用的电子仪器外壳要连在一起并与大地相接,各种测量也都是以大地(保护地线)为参考点的,而不是零线。

1.2.3 电子仪器动力电的引入及信号的连接

1. 仪器安全用电

每台仪器只有在额定电压下才能工作正常。当电压过高或过低时都会影响仪器正常工作,甚至烧坏仪器。我国生产并在国内销售的电子仪器多采用 220 V 交流电,在一些进口或国

内外销售的国产电子仪器中,有一个 220 V/110 V 电源选择开关,接通电源前一定要将此开关置于与供电网电压相符的位置。另外,还要注意用电的性质,是交流还是直流,不能用错。若用直流供电,除电压值满足要求外,还要注意电源的正负极性。

2. 电子仪器电源的引入

电子仪器中的电子器件工作时需要稳定的直流电压。该直流电压通常是将 220 V/50 Hz 的单相交流电源经变压器降压后,再通过整流、滤波、稳压才能得到合适的直流稳定电压。

通常采用三芯电源线将交流电引入电子仪器,电源插头的中间插针与仪器的金属外壳连在一起,其他两针分别与变压器初级线圈的两端相连。这样当把插头插在电源插座上时,通过电源线即把仪器外壳连到大地,火线和零线也接到变压器的初级线圈上。当多台仪器一起使用并都采用三芯电源线时,通过电源线就能将所有的仪器外壳连在一起,并与大地相连。

电子仪器的输入与输出线,在使用的电子仪器中,有的是向外输出电量,称为电源或信号源;有的是对内输入电量,以便对其进行测量。不管是输入电量还是输出电量,仪器对外的联系都是通过接线柱或测量线插座进行的(普通仪器多采用 Q9 型插座)。若用接线柱,通常将其中之一与仪器外壳直接相接并标上接地符号“ $\perp$ ”,该接线柱常用黑色,另一个与外壳绝缘用红色。若用测量线插座实现对外联系,通常将插座的外层金属部分直接固定在仪器的金属外壳上,如图 1.2.2 所示。

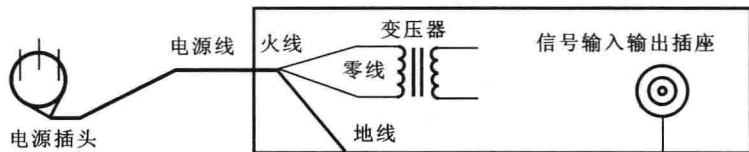


图 1.2.2 电源线、信号输入/输出线的连接

实验室使用的测量线大多是 75 Ω 的同轴电缆线。一般电缆线的芯线接一红色鳄鱼夹,网状屏蔽线接一黑色鳄鱼夹,网状屏蔽线的另一端与测量线插头的外部金属部分相接。当把测量线插到插座上时,黑夹子线即与仪器外壳连在一起;也可以说,黑夹子线端即接地点,因为仪器外壳是与大地相接的。由此可见,实验室的测量系统实际上均是以大地为参考点的测量系统。如果不想以大地为参考点,就必须把所有仪器改为两芯电源线,或者把三芯电源线的接地线断开,否则就要采用隔离技术。

若用两芯电源线,测量线的黑夹子线一端仍与仪器外壳连在一起,这种情况称为悬浮地。当测量仪器为悬浮地时,可以测量任意支路电压,当黑夹子接在参考点时,测得的电位为对地电位。

以上讨论得出这样一个结论:信号源一旦采用三芯电源线,那么由它参与的系统就是一个以大地为参考点的系统,除非采取对地隔离(如使用变压器、光耦等);测量仪器(如示波器、毫伏表)一旦采用三芯电源线,它就只能测量对地电位,而不能直接测量支路电压。因此,在所有仪器都使用三芯电源线的系统中,其黑夹子必须都接在同一点(接地点)上,否则就会造成短路。

1.3 电工测量基本知识

1.3.1 电工测量的分类

在测量过程中,由于采用测量仪表的不同,度量器是否直接参与以及测量结果如何取得等,就形成了不同的测量方法。这些方法的选择,一般与被测量的特性、测量条件及对准确度的要求等有关。测量方法可以根据各种不同的特征来分类。

1. 按获得被测量结果的不同方式分类

按获得被测量结果的不同方式,可将测量方式分为三种:

(1) 直接测量:直接测量时,测量结果是从一次测量的实验数据中得到的。此时,可以使用度量器直接测量被测量;也可以使用按相应单位刻度的仪表直接测量。如用电压表测量电压和用电流表测量电流等,都属于直接测量。

(2) 间接测量:间接测量时,测量结果是通过直接测量几个与被测量有一定函数关系的量而得到的。例如,测导体的电阻系数 ρ 时,可以通过直接测量测出该导体的电阻 R 、长度 l 和截面 S 之值,然后按电阻与长度、截面的关系式求出电阻系数 ρ 。

(3) 比较测量:以被测量与同类量的已知值相比较为基础的测量方法,称为比较测量。例如以电位差计测量电压等方法均属比较测量。

2. 按获得测量对象数值的不同方法分类

按获得测量对象数值的不同方法,又可将测量方法分为两种:

(1) 直读测量法:直读测量法的实质,是根据测量仪表的读数来判断被测量大小,作为测量单位的度量器并不直接参与测量。为了能直接读取被测量,这些测量仪表已按被测量的单位预先刻好分度,因而实际上也是与度量器的间接比较。

采用直读测量法进行测量,由于具有设备简单和实验方便等一系列优点,因而得到了广泛的应用,其缺点是测量准确度因受仪表准确度的限制而较低。

(2) 比较测量法:在测量过程中,被测量需要与度量器直接作比较的所有测量方法,都属于比较测量法。也就是说,比较测量法的特点就是在测量过程中要有度量器的直接参与。

1.3.2 测量误差的来源

在实际测量中,总会受到各种因素的影响,使得测量结果不可能是被测量的真值,只能是其近似值。由于被测量的真值通常难以获得,所以在测量技术中常把标准仪表的读数当做真值,称为实际值,而把测得的近似值称为测量值。被测量的测量值与实际值之间的差值,称为误差。根据产生误差的原因和性质不同,测量误差一般分为系统误差、随机误差(或偶然误差)和疏失误差等三种。

1. 系统误差

它是一种在测量过程中保持不变或遵循一定规律而变的误差。造成系统误差的主要原因有:

(1) 测量设备误差:由于度量器或仪器、仪表具有固有误差,以及安装或配线不当等所引起的误差。为了消除这种误差,首先应对度量器或测量用仪器、仪表进行检定,并在测量中引用其更正值,此外还要注意安装质量和配线方式,必要时采用屏蔽措施来消除外部磁场和电场

的影响。

(2) 测量方法误差:由于测量方法不完善而引起的误差。为消除此误差,在测量中要充分估计到漏电、热电势以及接触电阻等因素的影响。此外,在间接测量时不宜采用近似公式进行计算,需要时还应采用特殊的测试方法,如采用正负消除法以消除指示仪表的摩擦误差等。

(3) 测量条件误差:由于周围环境变化以及测量人员的视差等而引起的误差。为此,就应了解度量器和仪器、仪表的使用条件,而在周围环境和外界条件超出其使用条件时,还要考虑到其可能产生的附加误差。

2. 随机误差

这是一种大小和方向都不固定的偶然性误差。在实际测量中,如处于完全相同的测试条件下,重复测量同一被测量时,其测量结果往往不同,这就表明随机误差的存在。产生随机误差的原因很多,如温度、磁场、电场和电源频率等的偶然变化,都会引起随机误差。为了消除随机误差,可采用增加重复测试次数,然后取其算术平均值的方法来达到,测量次数越多,其测量结果的算术平均值就越趋近于实际值。

3. 疏失误差

这是一种过失误差,是由于测试人员的疏失,如接线、读数或记录错误等,所造成的误差。为此,在测试中最好先用已知量对线路和读数等进行验证。

1.3.3 电工测量指示仪表的误差

电量测量类仪器仪表,无论制造得怎样精细,它的指示值与被测量的实际值之间总会存在着一定的偏差,这种偏差就称为仪表的误差。仪表的误差越小,其指示就会越准确。所以仪表的准确度也是以其误差的大小来区别的。但仪表准确度只能表明指示值与实际值之间的接近程度,并不是仪表的误差。如准确度为0.5级的仪表,其最大允许误差规定为 $\pm 0.5\%$,而其实际误差可能是 $+0.4\%$,也可能是 -0.3% ,所以 $\pm 0.5\%$ 只是指该级仪表所允许的最大误差极限值。

1. 仪表误差的分类

(1) 基本误差:是仪表和附件在规定的条件下,由于结构和工艺上的不完善所产生的误差。因此,基本误差是仪表本身所固有的误差,是不可能完全消除的。确定仪表基本误差时所规定的条件,在国家标准中有具体的规定。也就是说,只有这些规定条件得到满足时,仪表才能保证其基本误差。

(2) 附加误差:当仪表偏离了规定基本误差的工作条件时所产生的“额外”误差。附加误差在国标中也都作了具体规定。也就是说,当指示仪表工作在不同于基本误差的规定条件时,在测量中不仅要估计到仪表的基本误差,同时还要考虑到可能产生的附加误差。

2. 仪表误差的表示方法

仪表误差的表示,一般有下列三种方法:

(1) 绝对误差:仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值 Δ 称为绝对误差,即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1.3.1)$$

例如,电流表指示值为4.65 A,而其实际值为4.63 A时,则其绝对误差应为 $+0.02$ A。又如,线圈电阻额定值为1 000 Ω ,而实际值为1 000.5 Ω 时,则其绝对误差为 -0.5 Ω 。可见,绝对误差具有正负之分,同时还具有与被测量相同的量纲。

此外,由式(1.3.1)可得

$$A_0 = A_x + (-\Delta) = A_x + C \quad (1.3.2)$$

式中, $C = -\Delta$, 称为更正值。可见更正值和绝对误差大小相等而符号相反。引进更正值后就可以对仪表指示值进行校正, 使其误差得到消除。

(2) 相对误差: 绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 的比值称为相对误差。相对误差没有量纲, 通常用百分数来表示。如以 r 来表示相对误差, 则

$$r = (\Delta / A_0) \times 100\% \quad (1.3.3)$$

相对误差不仅可以表示测量结果的准确程度, 也便于对不同的测量方法进行比较。因为在测量不同大小的被测量时, 不能简单地用绝对误差来判断其准确程度。例如, 在测量 100 V 电压时, 绝对误差为 $\Delta_1 = +1$ V; 在测量 10 V 电压时, 绝对误差为 $\Delta_2 = +0.5$ V, 则从其绝对误差值来看: Δ_1 大于 Δ_2 值。但从仪表误差对测量的相对结果来看, 却正好相反。因为测量 100 V 电压时的误差, 只占被测量的 1%, 而测量 10 V 电压时的误差, 却占被测量的 5%, 即在测量 10 V 电压时, 其误差对测量结果的相对影响更大。所以在工程上通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

由于被测量的实际值和仪表的指示值通常相差很小, 所以也常用仪表的指示值 A_x 近似地计算相对误差, 即

$$r \approx (\Delta / A_x) \times 100\% \quad (1.3.4)$$

(3) 引用误差: 相对误差可以表示不同测量结果的准确程度, 但却不足以说明仪表本身的准确性能。同一只仪表, 在测量不同的被测量时, 由于摩擦等原因所造成的绝对误差 Δ 变化不大, 但随着被测量值的变化, 仪表指示值 A_x 却在仪表的整个刻度范围内变化。因此, 同一只在按式(1.3.3)计算相对误差时, 对应于不同的被测量就有不同的相对误差。这样, 我们就难以用相对误差去全面衡量一只仪表的准确性能。

例如, 一只测量范围为 0~250 V 的电压表, 在测量 200 V 电压时, 绝对误差为 1 V, 则其相对误差为 $r_1 = 1/200 = 0.5\%$; 用同一只电压表测量 10 V 电压时, 绝对误差为 0.9 V, 其相对误差则为 $r_2 = 0.9/10 = 9\%$ 。可见, 在被测量变化时, 其相对误差也就随着改变了。

引用误差是指绝对误差 Δ 与仪表测量上限 A_m (即仪表的满量程) 之比值的百分数。若用 r_m 来表示引用误差, 则有

$$r_m = (\Delta / A_m) \times 100\% \quad (1.3.5)$$

1.4 实验故障的检查与排除方法

对于初次接触电工实验或实践经验不够丰富的实验者来说, 难免在实验中出现各种各样的问题或发生这样那样的故障, 从某种意义上讲并不完全是坏事。如果实验者认真对待, 通过排除故障, 解决出现的各种问题, 汲取教训, 会另有收获。因此, 要辨证地对待实验过程中出现的故障问题。

1.4.1 常见故障

实验中产生故障的原因各种各样, 但结果却都将导致实验不能顺利进行, 不能获得理想的结果。实验中的常见故障归纳起来有如下几个方面。

1. 元器件及连接

元器件及连接方面的故障包括:

- (1) 用错了元器件或选错了标称值。
- (2) 连线出错,导致原电路的结构发生改变。
- (3) 在同一个测量系统中有多点接地,或随意改变了接地位置。
- (4) 连接线已损坏或接触不良。

当实验中的仪器都使用三芯电源线时,若不注意仪器输入、输出线的红夹子和黑夹子的区别,就会在同一个测量系统中造成多点接地故障,这种故障在初学者的实验中出现较多。

从理论角度分析,由于交流信号源提供的交流信号方向是交变的,所以无正负极之分。但在实验室里,由于电子仪器的信号输入/输出线,其中一根(黑夹子线)已经与仪器的外壳相连,即已经接到了以大地为参考点的地线上,因此实验时红夹子线和黑夹子线就不可随意连接,黑夹子线必须接在参考点上(即地线上)。这样做并不等于说交流信号就有正负极了,它与直流电源的正负极性是两个完全不同的概念。

2. 仪器设备方面

由仪器设备引起的故障一般有以下情况:

- (1) 测量线损坏或接触不良。
- (2) 超出了仪器的正常工作范围,或调错了仪器旋钮的位置。
- (3) 仪器旋钮由于松动偏离了正常的位置。
- (4) 仪器自身工作不稳定或损坏。

在以上情况中,测量线损坏或接触不良发生得最多,而仪器自身工作不稳定或损坏在实验过程中出现的概率要少得多。当实验者粗心大意或未完全掌握仪器的正确使用方法时,则可能出现第(2)种情况。

3. 错误操作情况

当仪器设备工作正常,电路连接正确,但测量结果与理论值不符或出现了不应有的误差时,这通常是由实验者的错误操作而引起的。错误的操作一般有以下几种情况:

- (1) 采用了不正确的测量方法,选用了不该选用的仪器。
- (2) 理解问题片面,盲目地改变了电路结构,没有考虑电路结构的改变会对测量结果产生影响。
- (3) 没有严格按操作规程使用仪器。例如在读取数据前没有先检查零点或零基线不准确,读数的姿势不规范,表针的位置及量程选择错误等。
- (4) 无根据地盲目操作。

实验者在实验过程中粗心大意、操作不规范、无条理、漫不经心,常会引起错误操作。因此养成良好的实验习惯非常重要,否则可能会造成严重后果,烧坏元器件,损坏仪器设备。故在实验过程中除了掌握测量方法、实验技能,不断积累经验,提高分析问题、解决问题的能力外,培养科学的实验态度,养成良好的操作习惯也是十分重要的,这也是提高实验素质不可缺少的一个方面。

以上列举了一些故障现象,目的是使学生在实验中对这些方面引起注意,减少错误操作的发生或出现故障时能较快地查找出故障,保证实验顺利地进行。

1.4.2 常见故障的排除方法

电路中一旦发生故障,实验者应设法排除故障,使电路恢复到正常状态。通过排除故障,实验者可以从中吸取教训,积累经验,同时这也是锻炼分析问题、解决问题的好机会。切不可

电路一出现故障,就不观察故障现象,不分析故障原因就将实验电路拆掉重来。这样做既不利于问题的解决,也不利于能力的提高。由于导致电路故障的原因尚未查明,可能还会带来其他不良影响或造成严重后果。当故障发生后应采取以下措施:

1. 判断故障的性质

判断故障的性质是为了确定采用什么样的检查手段和方法来排除故障。从故障造成的后果来区分,通常有破坏性和非破坏性两种。

(1) 破坏性故障。出现此类故障时经常会有打火、发热、冒烟、发声等异常现象,会造成元器件、仪器、仪表的永久性损坏。在实验中一旦出现这类情况,应立即切断实验仪器和被测系统的电源,然后再检查故障,以免造成进一步的损坏。

检查此类故障时,一定要在完全断电的情况下进行。可通过查看、手模,找出电路中损坏的部分或发热元器件,再进一步检查电路的连接、器件的参数等。若只凭观察不易发现问题,可借助万用表对电路或器件进行检查。通常多采用测量电阻的方法进行,检查电路是否短路、开路,电路中相应器件的电阻值是否发生了变化,电容、二极管是否被击穿等。这类故障多发生在具有高电压、大电流以及含有有源器件的电路中。

当电路出现短路或负载太重(阻值太小)时,会对信号源、直流稳压电源造成损坏。因此,当发现电源的输出突然下降到零或比正常值下降很多时,应立即关掉电源进行检查。

(2) 非破坏性故障。该类故障只会影响实验结果,改变电路原有功能,不会对电路或元器件造成损坏。此类故障虽不具破坏性,但排除这类故障一般比排除有破坏性的故障难度更大。因此,除采用上述检查方法外,通常还需加电检查,即对实验电路加上电源和信号,然后通过测量电路的结点电位、支路电流来查找故障。在交流电路中,通常检查的是支路电压。检查时可按照实验电路从信号源输出端开始,逐点向后检查直至找到故障点。

2. 了解故障现象

根据故障的现象,可确定故障的性质,同时可进一步分析产生故障的可能原因。根据不同的原因,可采用相应的措施去排除。如故障现象为测试点处无信号,其原因可能有:该点后面电路短路,前面电路有开路,信号源无输出,信号源输出线开路,测量仪表的输入线断等。再如,考察线性电路中某点电位时,调整信号发生器的输出,毫伏表的读数不跟随变化,这时的原因可能有:信号发生器损坏(幅度电位器失灵),毫伏表输入线未接地(接触不良或导线损坏)等。依据这些可能的原因逐一排除,最后可找到引起故障的真正原因。

3. 确定故障位置

故障位置的确定即找出发生点,采用的方法和手段可多种多样,但总的指导思想应遵循由表及里、由分散到集中、先假设后确定的原则。要想尽快地找到故障点并加以排除,需要有扎实的理论知识和分析问题的能力,更多的是需要积累丰富的实践经验。

实践经验的积累是与平时的努力和训练分不开的,要善于观察、勤于思考、增加动手机会,大胆熟练操作。因此,平时要养成良好的习惯,实验时不要輕易放过任何一种现象,并善于发现问题,观察实验过程中的所有异常现象,培养独立分析问题、解决问题的能力;不要一出现问题就去请求别人或找指导老师帮助,更不应回避问题,这样才能保证实验达到应有的效果。

1.5 预习报告和实验报告的要求

实验课表面上是一门以实验操作为主的课程,但课前的准备及课后的总结也是不可忽视