

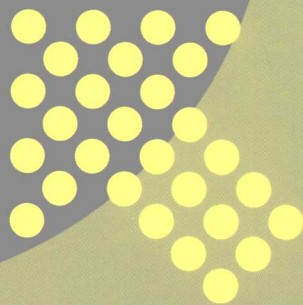
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG DIANZI JISHU SHIYAN YU SHIXUN ZHIDAO

电工电子技术实验 与实训指导

王硕禾 魏英静 刘宁宁 蔡承才 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

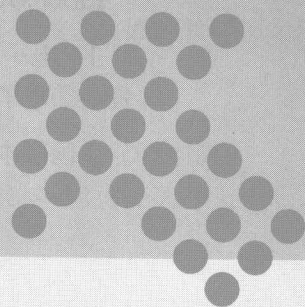
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG DIANZI JISHU SHIYAN YU SHIXUN ZHIDAO

电工电子技术实验 与实训指导

编著 王硕禾 魏英静 刘宁宁 蔡承才
主审 万健如



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书分为 3 章, 主要内容包括电工电子实验课程基础知识、9 个电工电子课程实验、5 个电工电子实训。书后有附录, 对示波器、函数信号发生器、交流毫伏表等实验中常用仪器、仪表的技术性能指标和使用方法进行了简单介绍, 为学生正确使用和了解这些仪表的性能提供了必要的参考资料。

本书主要作为高等院校土木、交通、建筑、材料等非电类专业的电工电子学实验课程本科教材, 也可作为其他专业短学时电工课程实验教材及高职高专教材, 同时可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术实验与实训指导/王硕禾等编著. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8910 - 3

I. 电… II. 王… III. ①电工技术—高等学校—教学参考资料②电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 087147 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 4.25 印张 99 千字

定价 8.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

序 言

当前,随着信息科学技术的迅猛发展,不同专业对于“电工电子技术”课程的要求愈来愈高。新技术层出不穷,知识更新速度不断加快,对于学生动手能力的培养要求也越来越高。《电工电子技术实验与实训指导》一书涉及内容广,涵盖了直流电路、交流电路、电机控制、模拟电子技术、数字电子技术及可编程控制器(PLC)等电工电子技术理论课程中所要求的相关的实验内容。

本书中的基础实验在验证重要定律、定理和分析方法的基础上,设计了难度适中的设计性和综合性实验项目,为学生进行开放性实验和个性培养创造了条件。本书在力求保证基础、体现先进、加强应用方面,注重培养学生的分析问题、解决问题的能力,提高学生的实践动手和思维创新能力,有助于学生综合素质的培养,符合 21 世纪复合型人才培养的要求。

本书适用于不同层次本、专科学生使用,是与非电专业电工电子技术等基础理论课程配套的一部好的实验教材,完全符合国家教委电工电子相关课程教学指导委员会指定的课程基本要求。作者长期从事电工学、电路、电机学等相关课程的理论和实践教学,积累了较丰富的教学经验,近年来相继编写并出版了《电工与电子技术》、《电工电子学》、《电路·信号与系统实验教程》等多部教材,深受读者欢迎。本书是作者总结多年教学实践经验和课程建设的成果结晶。

万健如

2008 年 12 月于天津大学

前 言

自 2002 年石家庄铁道学院电工电子技术课程被评为河北省首批精品课程以来,全体授课教师针对该课程进行了持续不断的课程建设和工作。先后完成“非电类电工与电子技术教学内容与方法改革”、“基于多计算机仿真技术的电路实验装置研究”、“非电类电工与电子技术课程立体化教学改革”等多项教学改革和科学研究项目。从教学方法、教学手段、教学体系以及教学内容等方面都进行了持续不断的改革。本书就是进行上述研究和实践的具体成果之一。

本书符合教育部对高等学校本科电工与电子技术课程的教学要求,内容丰富而实用,既保留了经典教学内容中的传统实验项目,如直流电路的综合性实验、晶体管单管放大电路等,又有反映本学科最新技术发展的设计性、综合性实验,如 PLC 的综合设计性实验、晶体管收音机的组装等。结合国内工科院校的实际情况和不同特点,本书着重体现了突出专业特色、加强动手能力培养、综合培养学生实际动手能力的特色。

全书内容分为 3 章,第一章对电工电子实验课程的目的、意义、要求及误差分析等基本知识进行了介绍;第二章为实验指导,包括直流电路、RL 串联电路及其功率因数的提高、三相电路、异步电动机正反转控制、PLC 控制实验、单管放大电路、集成运放线性应用、直流稳压电源、数字电路基础等;第三章为实训指导,分为电工实训和电子实训,分别为 PLC 综合实验和收音机的组装调试等。书后附有附录,对实验中常用仪器、仪表的技术性能指标和使用方法进行简单介绍,为学生正确使用和了解这些仪表的性能提供了必要的参考资料。

本书以我校多年使用的电工与电子技术实验讲义和编者的实践教学经验为基础,结合天煌教仪电工实验台等厂家的实验装置,并参考了兄弟院校优秀教师的有关图书和资料,在此对以上厂家和作者表示感谢。全书由王硕禾、魏英静、刘宁宁、蔡承才负责编写。在编写过程中得到了电气工程分院领导、电工电子基础教研室及电子工程实验中心老师的大力支持和帮助,编者在此谨致以深切的感谢。

限于编者学识和水平所限,书中难免存在缺点和疏忽,衷心欢迎使用本书的师生及其他读者批评指正。

编者

2009.3

目 录

序言

前言

第一章 电工电子实验课程基础知识	1
第一节 电工电子实验课程的作用和意义	1
第二节 电工电子实验课程的目的和要求	1
第三节 电工电子实验过程的正确顺序	2
第四节 电工电子实验设计的基本知识	3
第五节 测量方法和误差分析	6
第六节 实验操作规程与注意事项	9
第二章 电工电子课程实验	13
实验一 直流电路实验	13
实验二 RL 串联电路及功率因数的提高	17
实验三 三相电路综合实验	21
实验四 异步电动机的正反转控制	25
实验五 PLC 控制技术实验	29
实验六 单管共射放大电路实验	31
实验七 集成运放的线性应用	33
实验八 整流、滤波与稳压电路	35
实验九 TTL 门电路	37
第三章 电工电子实训	39
实训一 可编程控制器 (PLC) 应用设计实训一——天塔之光	39
实训二 可编程控制器 (PLC) 应用设计实训二——交通信号灯控制	41
实训三 可编程控制器 (PLC) 应用设计实训三——多种液体自动混合	43
实训四 可编程控制器 (PLC) 应用设计——电动机综合控制实验	45
实训五 晶体管收音机的装配与调试实训	47
附录	53
附录一 示波器	53
附录二 函数信号发生器	56
附录三 交流毫伏表	59
参考文献	62

第一章 电工电子实验课程基础知识

第一节 电工电子实验课程的作用和意义

进入 21 世纪后,随着现代科学技术的高速发展,对于工程技术人员的综合素质要求越来越高,不仅需要扎实的理论知识,更要具备良好的实验技能和综合解决工程实际问题的能力,这些能力的培养都离不开实验课程的基本训练。对于工程技术人员来说,如果没有一定的理论知识及良好的科学试验能力,不仅不能做出创造性成果,也难于胜任本职工作。所以,实验课程正是培养工程技术人员综合素质的重要环节。

电工理论是从 19 世纪发展起来的电学相关专业的重要基础理论课程,它的发展和提高离不开实验技术的发展。因此电工电子实验是电工课程学习必不可少的重要环节,是电工理论学习的一个重要组成部分,也是培养电气、电子、信息等专业工程技术人员实验技能的重要一环。

电工电子实验的内容涉及电工基本理论与实践中的常见现象,通过实验将理论与实践结合,巩固所学知识,培养有关电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器、仪表的基本原理和使用、选择方法,学习了解数据的采集与处理、各种现象的观察与分析等。

总而言之,实验课的主要作用就是对学生进行基本技能的训练,提高学生用基本理论分析及解决实际问题的能力;同时在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风,为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

第二节 电工电子实验课程的目的和要求

一、电工电子实验课程的目的

电工电子实验课程的目的有以下几点。

- (1) 增加对设备的感性认识,巩固和扩展电工理论知识,加深对电工基本理论的理解,培养实际工作能力。
- (2) 学习电学实验的基本知识,进行实验技能的培养和训练,掌握常用电工仪器设备的选用方法及测试技术。
- (3) 应用理论知识对实验结果进行数据处理和图解处理,提高分析和解决问题的能力。
- (4) 养成良好的实验习惯及安全用电的操作习惯,培养严肃的工作态度、严格的工作纪律及严谨的工作作风。
- (5) 培养学生综合解决电工电子问题的总体能力和技术。

二、电工电子实验课程基本要求

电工电子实验课程的基本要求如下。

- (1) 正确使用电压表、电流表和万用表,学会使用常用的一些电工设备;初步会用功

率表和一些电子仪器、仪表及电子设备，如普通示波器、直流稳压电源、晶体管毫伏表等。

(2) 掌握电压、电流的测量，信号波形的观察方法，电阻器、电容器、电感器参数以及元件电压、电流特性的测量及功率的测量。

(3) 能正确设计和连接实验电路，认真观察实验现象和正确读取数据，并具有一定的分析判断能力；能初步分析和排除实验故障，培养实事求是的科学态度。

(4) 能写出合乎规格的实验报告，正确绘制实验曲线，做出正确的分析、解释。

第三节 电工电子实验过程的正确顺序

一、课前预习

课前预习是实验课非常重要的一个环节，实验课程效果的好坏与实验预习准备情况直接密切相关。学生必须事先认真阅读实验指导书，认真思考后写出预习报告，设计好实验的步骤，对实验的每一个步骤心中有数才能做到有条不紊；主动地观察实验现象，发现并分析问题，取得最佳实验效果。否则，必然手忙脚乱，不仅完不成实验任务，达不到实验的目的与要求，甚至还可能发生实验事故。

预习的重点包括以下四项。

- (1) 明确实验目的、任务与要求，估算实验结果。
- (2) 复习有关理论，弄懂实验原理、方法。
- (3) 了解所需的实验元件、仪器设备及使用方法介绍。
- (4) 设计、熟悉实验电路和实验过程。

二、熟悉设备和连线

在接线之前应了解使用的仪器、设备、刻度、各旋钮的位置及作用，电源开关位置，确定所用仪表的量程及极性等。应根据实验线路合理布置仪表及实验器材，以便接线、查对，以及操作和读数。

对于初学者，首先应按照实验指导书给出的参考电路图一一对应元件，认真进行设计和布局接线。较复杂的电路应先串联后并联，同时考虑元件、仪器仪表的同名端、极性和公共参考点等与电路设定的方位一致，最后连接电源端。

接线时，避免在同一插孔的连线过于集中，减少因牵（碰）一线而引起接线松动、接触不良或导线脱落。改接线路时，应力求改动量最小，避免拆光重接。插接导线手法要轻盈，避免生拉硬拽，损坏设备。

三、通电操作及读数

线路接好后，经自查无误，并请指导教师复查后方可接通电源。通电操作时必须集中注意力观察电路的变化，如有异常（如声响、冒烟、发臭等现象），应立即断开电源，检查原因。接通电源后应将设备大致操作一遍，观察一下实验现象，判断结果是否合理。若不合理，则线路有误，需要立即切断电源重新检查线路并修正；若结果合理，则可正式操作。读数时要姿势正确、思想集中，防止误读。数据要记录在事先准备好的表格中，凌乱和无序的记录常常是造成错误和失败的原因。为获得正确的数据，在做实验报告时若发现原始数据不合理，不得任意涂改，应当分析问题所在。当需要把数据绘成曲线时，读数的多少和分布情

况应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为原则。读数的分布可随曲线的曲率而异，曲率较大处可多读几点。

四、实验结束

完成全部实验内容后，不要急于拆除线路，应先检查实验数据有无遗漏或不合理的情况，经指导教师同意才可拆除线路。然后整理桌面，摆放好各种实验器材、用具，方可离开实验室。

五、安全操作问题

实验过程中应随时注意安全，包括人身与设备的安全，需特别注意以下几点。

(1) 当电源接通进行正常实验时，不可用手触及带电部分，改装或拆除电路时必须先切断电源。

(2) 使用仪器仪表设备时，必须了解其性能和使用方法。切勿违反操作规程乱拨乱调旋钮，尤其注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。

(3) 如果实验中用到调压器、电位器及可变电阻器等设备时，在电源接通前应将其调节位置放在使电路中的电流为最小的地方；然后接通电源，再逐步调节电压、电流使其缓慢上升，一旦发现异常应立即切断电源。

第四节 电工电子实验设计的基本知识

一、正确进行实验仪器的选用

1. 仪器设备的选用

仪器设备的选用必须注意以下几个内容。

首先，应根据被测量的性质及测量对象的数值特点选择仪表设备的类型。根据被测量是直流还是交流选择直流或交流仪表和设备。测量交流时，应区分是正弦交流还是非正弦交流。如果是正弦交流，采用任何一种交流仪表（电流表或电压表）均可测量；如果是非正弦交流电流（电压），则需区别是有效值、均绝值或最大值。有效值可用电磁系或电动系电流表（电压表）测量；均绝值用整流系仪表测量；最大值用峰值表测量。测量交流时，还应考虑被测量的频率要求。一般常见的交流仪表（电磁系、电动系和感应系）频率范围较窄，当被测量的频率较高时应选择频率范围与其相适应的仪表。

其次，选择仪表设备的准确度等级。仪表准确度等级有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。其中 0.1~0.2 级常用作标准表或作精确测量；0.5~1.5 用于实验室一般测量；1.5~5.0 级仪表用作安装仪表或作工业测量。

再次，选择仪表的量程及设备的额定容量值。对于仪表应合理选择量程再进行测量。量程小了易“打表”造成设备损坏，量程太大则测量结果误差也大。一般工程测量中量程选择应为所估被测量最大值的 1.2~1.5 倍，仪表表针指示值尽可能不低于满偏读数的一半。对于功率表特别注意被测量的电压和电流都不允许超过表的量程。对于示波器应注意衰减器的档位，最大信号电压不能超过测试端的最大允许值。如果不知道被测量大小，则按先大（粗侧）后小（细侧）的原则选择仪表的量限档位。

最后，必须注意选择仪表的内阻。实验中应根据被测对象的阻抗大小选择合适的仪表内阻。在电阻串联电路中，当需测量电阻 R 两端电压时，如果电压表内阻 R_V 与被测对象的阻

值相差不大,则电压表的接入将严重的改变被测电路原有工作状态,造成测量结果有很大误差,甚至测量结果失去意义。

例如,假设电源电压 $U_S=180\text{V}$,负载 R 和内阻 R_0 等值均为 $20\text{k}\Omega$,量程为 100V ,在电压表未接入前有

$$U_R = \frac{U_S \times R}{R_0 + R} = 90 (\text{V})$$

接入电压表后,相当于在 R 两端并接上一个电阻 R_V ,并联后的等效电阻为

$$\frac{R_V \times R}{R_V + R} = 10 (\text{k}\Omega)$$

这时不论电压表的准确度有多高,电阻 R 两端的电压总是 $\frac{U_S}{3}$,即 60V 与原电路中 R 两端实际电压 90V 电压相差很大。显然这样的测量没有意义。如果改用内阻 $R_V=2000\text{k}\Omega$,量程仍为 100V 的电压表进行测量,测得电阻电压为 89.55V ,此值与电阻两端的实际电压已非常接近。由此可见,电压表的内阻越大对测量结果影响越小。

一般工程测量中,当电压表内阻 $R_V \geq 100R$ 时 (R 为与电压表并联的被测对象的总等效电阻),就可以忽略电压表内阻的影响。

电流表在测量中串入被测电路,因此要求电流表内阻 R_A 越小越好。在一般工程测量中当电流表内阻 $R_A \leq \frac{1}{100} \times R$ (R 为与电流表串联的总等效电阻),就可以忽略电流表内阻的影响。

对于直流稳压电源、稳流电源等设备,一般认为前者内阻等于零,后者内阻为无穷大,即作为理想电源看待。但对信号发生器等其他电源设备必须考虑其内阻。在使用有内阻的电源设备时,负载如需获得最大功率,必须考虑阻抗匹配。

2. 仪器设备的使用程序

在使用或操作仪器设备之前,首先了解仪器设备的表面标记、铭牌参数及各端钮的功能。再查看连线、仪器设备的状态是否满足实验要求。接下来,扳动仪器设备的开关、旋钮至实验要求的状态。如选好实验仪表的量程,把电源设备的可调旋钮或手柄调至安全位置等。而后,对仪器设备进行测试、试用。电压表是接两个表笔进行电压的试测。所谓试测是指先将一表笔触在一个待测点上,另一只表笔瞬间触碰另一个待测点,看表针指示是否正常。如表针反偏,说明极性不对;表针变化急剧,说明量程选择不合适。测量电流时,通常为了一表多用而利用插座代替电流表的位置。用接有电流表的插头插入插座进行电流测量,可利用插座内弹簧片的弹力,通过插头的“试插”来判断极,并观察整个电路中各仪器设备的工作是否正常,如发现异常应及时做出处理。

按照上述程序使用仪器设备,既能避免误用仪器设备,又能防止误操作。即使在操作中出现了预想不到的问题也能使仪器设备不被损坏。

二、合理布局与正确接线

1. 实验设备和仪器必须合理布局

根据实验任务和仪器设备条件,合理安排各仪器设备和实验装置的位置,布线时避免不必要的交叉和跨越设备,防止出现影响操作、读数及产生不安全因素。电源设备靠近电源开关,仪表严禁放置歪斜或重叠。总之,实验的布线应力求做到安全方便、整齐清晰,使实验

操作顺手,又易于观察和读数。

2. 保证连接线路的正确接线

接线时根据电路的特点,选择合理的接线步骤。正确接线的程序是:按图摆台,先串后并;先分后合,先主后从。首先根据合理布局所设计的原理图,找出所需要的各仪器、仪表与设备,放在实验台的相应位置。而后,按照设计电路,先连接串联回路中各器件,然后连接并联支路的器件。注意:复杂的线路要根据其特点分成几个部分进行连接,通常是先主回路后辅助回路。

连接电路还应注意,导线长短要适中,实验箱提供的几种不同规格长度的连接电线要合理选择应用。接线太长会缠绕不清,不便检查 and 操作;太短则牵扯仪器,容易脱线造成事故。

三、正确操作和读测数据

1. 正确操作的方法

正确的操作应该是先连线,后合电源开关,再观察整个线路上的所有设备、仪器。如发现有不正常现象(光、热、声、味、烟及表针指示异常等)应立即断开电源,查找原因。若电路正常,先粗略确定一些关键数据,做到心中有数,再进行正式测量,读取实验结果。

2. 正确读测数据的方法

正确读测数据要求做到只读取实测的实际偏转格数,而不直读含有单位的读数值。为了减小视值误差,读数时用单眼;为了符合有效数字要求,读数时要根据仪表最小刻度单位或准确等级确定有效数字位数。即当仪表指示器指示在两条刻度(分度)线之间时,必须估读一位数字(欠准数字)。

四、实验故障的分析和处理

排除实验故障是培养学生实际工作能力的一个重要方面,它不但需要一定的理论基础,而且需要较熟练的实验技能,还应在实践中不断总结经验。

1. 电工电子实验中产生故障的常见原因

- (1) 电路连接点接触不良,导线内部断线。
- (2) 器件、导线裸露部分相碰造成短路。
- (3) 电路连线错误,测试条件不对。
- (4) 器件参数不合适,实验装置、器件使用条件不符。
- (5) 仪器设备或器件损坏。

2. 故障处理的一般步骤

- (1) 出现故障立即切断电源,避免故障扩大。
- (2) 检查电路器件的外观,查找有无外观异常的器件。
- (3) 根据故障现象判断故障性质。故障可分为两大类:一类属破坏性故障,可使仪器设备、器件等造成损坏,其现象是烟、味、声、热等;另一类属非破坏性故障,其现象是无电压、无电流,电压或电流值不正常及波形异常等。
- (4) 根据故障现象性质确定故障的检查方法。对破坏性故障只能采用断电检查方法,可用欧姆表检查线路的通断、短路或器件阻值等。对非破坏性故障,既可采用断电检查,也可采用通电检查或两者结合的方法。通电检查主要是用电压表检查电路有关部分的电压是否正常。欧姆表法与电压表法是检查故障的两种常用方法,通常配合使用。

五、实验设计的基本方法

实验设计是指给定某个实验题目和要求,确定实验方案,正确选择所需的实验仪器和设备,自拟实验线路进行实验,并解决实验中遇到的各种问题。实验设计不但能巩固和扩展理论知识,而且能提高实验技能,丰富实践经验。它是实验能力和独立工作的综合锻炼。

实验设计的内容包括以下几个方面。

1. 实验方案的确定

根据实验课题、任务、要求等选择可行的实验方案,既要考虑可靠的理论依据,又要考虑有无实现的可能性。实验方案能否正确拟定,是实验成败的关键。如果偏废正确的测量方法,一味追求高精度仪表、仪器,反而得不到预期的实验目的。因此需要综合理论知识和实际经验,将两者融合在一起,才有可能作出好的实验方案。

2. 确定实验的步骤

实验步骤的确定应分以下几个顺序进行。

(1) 实验原理的研究,包括了解与实验题目有关的理论知识,选择实验电路、实验方法及实验方式等。

(2) 仪器设备与器件的选择,包括电路参数的计算,仪器设备和器件的型号、规格、数量的选择等。

(3) 实验条件的确定,包括电源电压,信号频率的选择,测试范围的确定等。

3. 实验进行中问题的处理

(1) 得不到预期的实验结果。先检查电路、仪器设备、实验方法、实验条件等,再检查实验方案,然后修订实验方案。

(2) 实验结果与理论不一致。仔细观察现象,分析数据并找出原因。

(3) 误差偏大。分析产生误差的原因,找出减小误差的方法。

4. 实验结果的分析

实验结果分析应紧扣实验题目和要求。其包括实验结果的理论解释、实验误差分析、实验方案的评价与改进意见、解决实验问题的体会等。

第五节 测量方法和误差分析

电工测量的基本任务就是借助各种仪器仪表,对电压、电流、功率等各种电量进行测量,以便掌握电器设备的运行状态。利用电工仪表进行测量,具有快速、连续、自动检测和远距离测量等一系列优点。在工农业生产中,产品质量的检测、生产过程的监视与自动化等方面都与电工仪表与测量技术紧密相关。

通常,将指示仪表简称为仪表,将校量仪器简称为仪器,而把整个用于电工测量的仪器、仪表统称为电工仪表。在利用电工仪表进行电路参数的测量过程中,测量方法的正确与否直接关系到测量结果的精确度和正确性。

一、测量方法

测量是指通过实验的方法,把被测量与同类单位进行比较的过程。测量是实验进行过程中非常重要的一个环节,测量方法的正确与否直接关系到测量数据的准确性。

1. 测量方法的分类

(1) 直接测量, 用测量仪器仪表直接得到被测量的数值。例如用电流表测电流、用电桥测电阻等。

(2) 间接测量, 先测出与被测量有关的几个中间量, 然后通过计算求得被测量。如用伏安法测量电阻。

(3) 组合测量, 在直接测量和间接测量所得到的实验数据基础上, 通过联立求解各函数关系方程得到被测量。例如电阻温度系数 α 和 β 的测量。电阻值 (R_t) 与温度 (t) 之间的关系为

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

式中 t ——电阻温度的摄氏度数;

R_{20} ——温度为 20°C 时的电阻值;

α 、 β ——待求的电阻温度系数。

若分别测量 20°C 和 t_1 、 t_2 时的电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 和 R_{t2} , 联立求解下列方程

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

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

即可得到电阻的温度系数 α 和 β 。

2. 测量方法的选择

在实验中测量方法的选择通常要考虑: 足够的灵敏度, 适当的准确度, 对被测电路的状态的影响要尽量小, 测量简单可靠, 测量前的准备工作和测量后的数据处理尽可能简便, 对被测量性质作深入了解。如参数是否线性、数量级如何、对波形和频率有无要求、对测量过程的稳定性有无要求等。

二、误差的简单分析

测量时, 无论采用什么测量方法、何种测量方式, 都不可避免地会受到测量工具、方法、环境等因素的影响, 产生测量误差。所谓测量误差, 是指测量结果与被测量的真值 (或实际值) 之间的差异。

(一) 误差分析

(1) 按误差来源分: 工具误差、使用误差、人为误差、环境误差及方法误差。

(2) 按误差性质分: 系统误差、随机误差、疏失误差。

(3) 按表示方法分: 绝对误差、相对误差、引用误差。

(二) 误差的表示方法

1. 绝对误差

被测量的给定值 A_x 与真值 A_0 (或实际值) 之间的差值称为绝对误差。绝对误差用 Δ 表示为

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

式中给出值 A_x 指的是: 在测量时被测量对象的读测值; 在检定仪表时指被检刻度线指示值; 在检定度量器 (如标准电阻) 时指被检度量器的标称值, 即铭牌上的标明值; 在近似计算中指所取近似值。

真值 A_0 是指规定的条件下, 被测量所具有的真实值大小。实际测量中, 通常用更高一级的标准仪表所测的值来代替。

2. 相对误差

绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 比值的百分数称为相对误差。用 γ 表示为

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

式中被测量的真值 A_0 较难求，但被测量的给出值 A_x 与真值 A_0 相差不大，常用 A_x 代替 A_0 ，相对误差近似可表示为

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

式 (1-3) 说明，仪表指示值越大，其测量相对误差越小。

【例 1-1】 A 表在测量实际值为 100V 的电压时，指示值为 99V，B 表在测量实际值为 1000V 的电压时，指示值为 1002V，试求两表的测量误差。

解： 设 A、B 两表的测量绝对误差分别为 Δ_A 、 Δ_B ，相对误差分别为 γ_A 、 γ_B ，则

$$\Delta_A = (99 - 100)V = -1(V) \quad \Delta_B = (1002 - 1000)V = 2(V)$$

$$\gamma_A = \frac{-1}{100} \times 100\% = -1\% \quad \gamma_B = \frac{2}{1000} \times 100\% = 0.2\%$$

相对误差表明误差对测量结果的相对影响，反映了实际情况。

3. 引用误差

绝对误差 Δ 与仪表上量限 A_m 比值的百分数称为引用误差 γ_n ，表示为

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

由于仪表标尺各处的绝对误差不同，因此标尺各处的引用误差也不同，若用全标尺上绝对误差最大值 Δ_m 与仪表量限 A_m 比值的百分数表示最大引用误差，则有

$$\gamma_{n,m} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

最大引用误差是仪表在正常工作条件下不应超过的最大相对误差。仪表在规定工作条件下，在标尺工作部分的所有刻度上，允许的最大引用误差称为仪表的准确度，用符号 K 表示为

$$\pm K = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

在我国根据 GB 776—1976《电测指示仪表通用技术条件》规定，仪表准确度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。

4. 工程测量中最大误差的估算

由于测量过程中，测量误差总是不可避免的。因此，在测量工作结束之后，不仅要确定被测量的数值，而且还要确定测量结果中所包含的误差大小，以评估测量结果的可信度。

在工程测量中，随机误差与系统误差相比往往很小，除精密测量之外，可以略去不计。通常只考虑系统误差的影响。

(1) 直接测量中误差的估算。系统误差主要来源是工具误差和方法误差。工具误差又分为基本误差和附加误差。

1) 基本误差的估算。仪表在正常条件（规定温度、压力、放置方式等）下使用，由于结构和工艺等原因产生的误差称为基本误差。它是仪表本身固有的。若用真值仪表测量时，

已知仪表准确度等级 K ，最大量程为 A_m ，可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm \frac{K \times A_m}{100\%} = \pm K \times A_m \quad (1-7)$$

仪表读数为 A_x 时，测量可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \pm \frac{K \times A_m}{A_x} \times 100\% \quad (1-8)$$

2) 附加误差的估算。仪表偏离正常使用条件，如温度、湿度、波形、频率、放置方式等超出仪表使用范围，即外界因素影响造成的仪表使用误差称为附加误差。当这些外界因素在规定的最大允许范围变化时，仪表附加误差的表示方法与基本误差相同。

(2) 间接测量中误差的估算。间接测量中，除了需要考虑直接测量中的工具误差和方法误差之外，还必须考虑计算时可能造成的最大误差。具体情况需要根据被测量是两个直接测量量之和，被测量是两个直接测量量之差，被测量是几个直接测量量之积或商的情况分别考虑。详细处理办法请参照相关的参考书。

第六节 实验操作规程与注意事项

一、实验操作要求

实验室是进行课程科学实验的主要场所，为确保实验顺利及人身和设备的安全，同学应自觉遵守各项实验规则，养成良好的实验习惯。

(1) 注意安静。实验需要安静的环境，它有利于集中精力做实验，有利于思考问题、解决问题，因此学生们在讨论问题时应轻声讲话，不要干扰其他同学的实验。

(2) 遵守实验时间，不准迟到、旷课。

(3) 实验前必须预习，写好预习报告，否则不允许参加实验或另行安排时间做实验。

(4) 各组设备都已配全、编号。各组间不得自行互换和借用仪器设备，若仪器设备有问题可请老师解决。

(5) 严禁带电接线拆线。

(6) 若在实验中发生意外情况，应立即断开电源，保护现场，并立即报告教师。

(7) 保持实验室整洁，实验完毕后要整理好一切用具。

(8) 爱护国家财产，对所用仪器设备要了解使用方法后再做实验。如发生仪器设备损坏事故，根据具体情况按学校规定处理。

二、预习要求

预习的内容和要求主要有以下几点。

(1) 明确实验目的，彻底搞懂实验线路的工作原理和测量仪器的使用方法。

(2) 思考实际操作时的具体步骤，明确要测量的数据和测量方法，对被测数据的范围要有初步估计，明确通过计算得到的数据和计算公式。

(3) 完成各个实验的预习思考题，编写预习报告。

三、实际操作要求

1. 实际接线操作要求

首先要熟悉一下本次实验中所用的各种仪器设备，然后分工按照有关线路接线。接线时

先将主要回路逐个接通,由电源端开始,按照线路图由前向后顺序连接,然后并接电压表及功率表的电压线圈等。电路中各元件及测试仪表等位置的安排,应使实际操作及仪表读数均感方便为标准,一般按电路图的顺序排列,同时还应避免感应线圈磁场对仪表产生的影响。接线时必须拧紧接线柱上的螺帽或塞紧接线插头,一个接线柱上的连接线不要太多,以防连接松动引起导线脱落造成事故。

连接仪表时,对于电工仪表应注意类别(如电压表和电流表,交流表和直流表等)及其量程和极性。对于电子仪器应注意使用的电源电压大小、输出信号的大小和频率、测量的量程及频率范围、连接导线的屏蔽作用。

必须指出,电源线应在整个线路检查无误后才能接上。严格禁止将导线的一端接在电源上,而把另一端随便地放在桌上或悬空。

同一组的同学在接线及查线上应有分工。未接通电源前的查线方法与接线情况一样,即按照电路图先查主要回路,后查并联的支路,再查各类测试仪表的量程、极性、输出信号的大小及频率、测量频率的范围等。若上述查线没有查出毛病,但在接通电源后出现故障,则应断开电源后仔细查找故障,排除故障,使线路恢复正常后,才能通电进行测试。

一般故障现象及产生的原因有以下几点。

(1) 开路故障其现象有电路无电压、无电流,示波器无波形显示,电表无读数等。造成开路故障的原因有保险丝熔断、接线柱松动、接触不良、连接导线的根部被折断、个别元件已损坏断线等。

(2) 短路故障其现象有电流急剧增加而将电流表指针打弯;熔丝熔断,电路元件冒白烟,有烧焦气味等。造成短路故障的原因有接线错误(如使大电阻负载短路),仪表接错(如把电流表并联在电路中),连接导线脱落,多余导线遗留在电路中等。

排查故障的办法有以下几种。

(1) 外表观察。如电源是否已接上,电源熔丝是否良好,连接导线是否脱落,是否有多余导线混杂在电路中。

(2) 断电检查。从电源端拆下一根导线后,用万用表欧姆档逐点测试观察线路是否通路,即从电源端开始逐个检查元件是否损坏,导线是否断开,接线柱上接线接触是否良好等。

(3) 通电检查。在电子线路输入端加上适当的信号,逐级测试输出情况,或观察各级测试点的波形,逐步缩小故障范围,以便迅速找出故障所在。在开路故障时,可以在通电情况下用电压表测量各点的电位并判断是否正常。

(4) 实验过程中,同组同学须互相监护,注意实验设备和人身安全。

2. 实际测量操作要求

为了保证实验高速度高质量完成,在读取数据之前应试做一遍,注意观察被测量的变化和出现的现象,并与事先估计的变化规律是否接近,同时合理地选择几个测试点。

读取数据时应注意以下几点。

(1) 当电源电压或信号不稳定时,对几个仪表要同时进行读数。

(2) 对指针式仪表读数时,要在指针与小镜中的针影相重合的情况下读取。

(3) 为减小误差,测试点不应跳跃。

(4) 读取数值的有效位数应充分利用测试仪器的准确度等级。

最终,应首先检查需测数据是否已测量,若有遗漏应马上补测。然后检查测试点的间隔选择是否合适,在曲线的平滑部分可少测几点,而曲线的弯曲部分要多测几点。最后再与事先估计的数据进行比较,当发现测得的数据或通过实验算出的数据与事先估计的数据有较大差别时应及时分析,找出原因。实验中一般原因有:线路中可能还存在着故障未被查出来,测试方法上存在较大误差,测试点搞错,读数错误,测试仪器有毛病。但在排除上述所有故障及原因后重新测得的数据仍有较大差别时,则应尊重事实,实事求是地把数据记录于表格、中,然后进行仔细分析,提出自己的见解,切忌弄虚作假或抄袭他人。

3. 结束操作要求

在结束实际操作之前还应注意如下事项。

(1) 把使用仪器设备的名称、规格和编号记录下来,以后如对实验测量的结果有怀疑,或对仪器设备的准确度有怀疑时,可仍用原来的仪器设备重做实验,以便校核。但有些不影响实验准确度的设备,如自耦变压器、滑线电阻、开关等,可不记录。

(2) 把自己已检查过的测量数据交给教师审阅,并与教师一起检查仪器设备的使用情况,然后再进行拆线。注意拆线时,一定要先将本组的电源断开,以免发生人身或设备事故。

(3) 将仪器设备整理好,安放在原来的位置上,等老师认可后方可离开实验室。