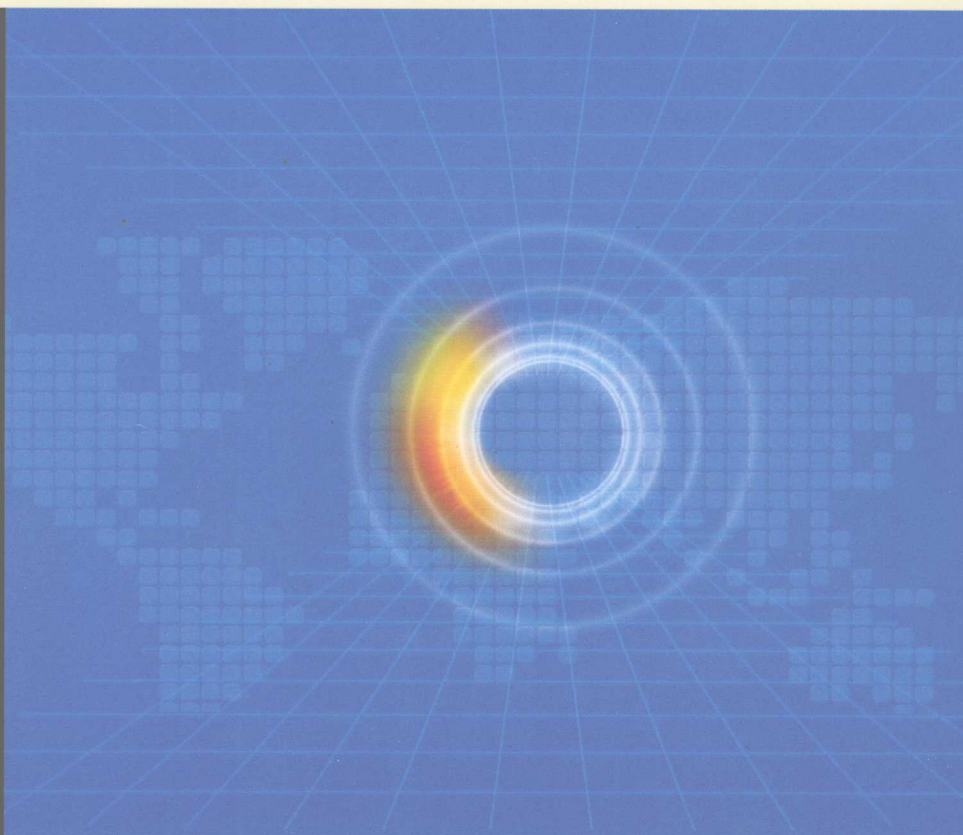


D G J S S J J C D G J S S J J C

电工技术 实践教程

孟祥贵 陈棣湘 张琦 潘孟春 / 主编

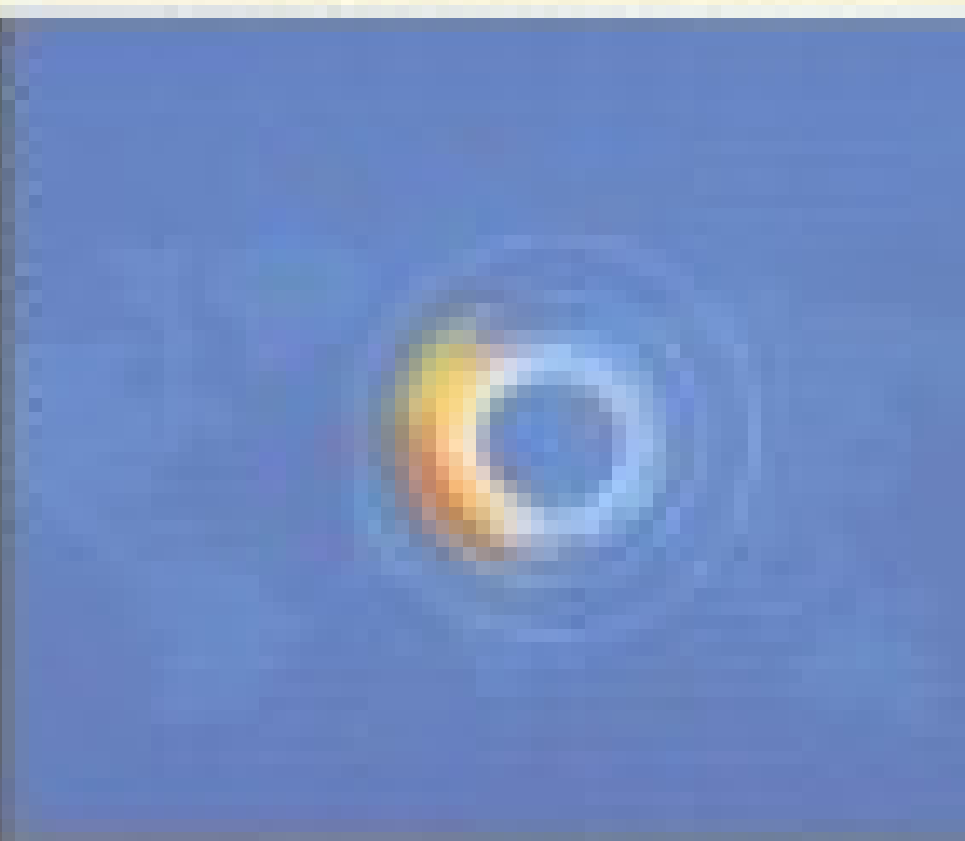
DIANGONG JISHU
SHIJIAN JIAOCHENG



国防科技大学出版社

电工技术 实践教程

王明华 主编 王明华 副主编 王明华 副主编



清华大学出版社

电工技术实践教程

孟祥贵 陈棣湘 主编
张琦 潘孟春

国防科技大学出版社
湖南·长沙

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术实践教程/孟祥贵, 陈棣湘, 张琦, 潘孟春主编. —长沙: 国防科技大学出版社, 2008.9

ISBN 978 - 7 - 81099 - 558 - 0

I. 电… II. ①孟… ②陈… ③张… ④潘… III. 电工技术—高等学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 136154 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑: 唐卫葳 责任校对: 文 慧

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 字数: 285 千

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1 - 5000 册

ISBN 978 - 7 - 81099 - 558 - 0

定价: 22.00 元

前 言

根据电工技术系列课程实验教学的要求,同时结合国防科技大学电工技术实验室近年来的建设成果和教学实践,我们重新编写了《电工技术实践教程》。它以全新设计的电工综合实验平台为硬件基础,以自主开放实验环境为支撑,在进一步丰富电工基础性实验的同时,加强了电工综合性实验和虚拟性实验内容,在设计综合性实验内容时引入了真实的放大电路模型、模数转换模型等实验,力求增强电工实验的开放性、创新性和实用性,使学生能更好地掌握电工技术的基本技能,为后续课程的学习奠定良好的基础。

本书包括五章和三个附录。第一章为概述,对电工理论的发展、电工实验的原则、电工实验的目的和要求、电工测量基础知识和电工仪表基础知识等进行了介绍;第二章介绍了电流表、电压表、功率表、万用表、兆欧表、交流毫伏表、示波器、信号发生器和直流稳压电源等常用电工仪器仪表的基本原理和使用方法;第三章提供了 25 个电工基础性实验,可根据不同的教学要求选择,以培养和提高学生的基本实践技能;第四章提供了电工仪表的设计、电工元件参数的测量、数模转换器的设计和放大电路的设计等电工综合性实验,在培养和提高学生对电工与电路基础知识综合运用能力的同时,也为后续课程搭建了桥梁,促使学员增强对电工类课程重要性的认识;第五章首先结合实例介绍了 Multisim 2001 虚拟电子工作平台,然后介绍了基于 FLASH 软件平台设计的电工虚拟实验教学软件,包括电工照明和机电拖两个部分,实践证明这些内容对激发学员的学习兴趣和指导学员提高实际操作的效果有着重要的作用。附件 A 从自主实验环境、综合实验平台、实验指导体系等三个层面对电工自主实验平台进行了介绍;附录 B 收录了常用电工元件与设备的图片,强调实践从认知开始;附录 C 介绍了电阻和电容的辨识方法,以备必要时查阅。

本书由潘孟春教授策划。第一、第二章由张琦博士编写,第三、第五章由孟祥贵实验师编写,第四章由陈棣湘副教授编写,陈棣湘副教授负责了附录的整理工作,潘孟春教授与陈棣湘副教授一起承担统稿和定稿工作。国防科技大学电工技术实验室的向桢、张泽锋、安寅、刘湘冬同志承担了本书的部分实验试做、资料收集、文档录入和插图绘制工作。本书对张圻教授等编写的《电工技术实践教程》有一定的继承性,同时也参考了参考文献中所列出的资料,在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中一定存在不少错误及疏漏,恳请读者批评和指正。

编 者

2008 年 6 月

目 录

第一章 概 述

1.1 电工理论的发展	(1)
1.2 电工实验的原则	(3)
1.3 电工实验的目的和要求	(4)
1.4 电工测量基础知识	(5)
1.4.1 电工测量的内涵	(5)
1.4.2 电工测量误差	(7)
1.5 电工仪表基础知识	(9)
1.5.1 电工仪表的准确度	(9)
1.5.2 电工仪表的原理	(9)
1.5.3 电工仪表的使用方法	(12)

第二章 常用电工仪器仪表

2.1 电流表	(15)
2.1.1 并联分流原理	(15)
2.1.2 C46 型电流表	(16)
2.2 电压表	(17)
2.2.1 串联分压原理	(17)
2.2.2 C46 型电压表	(18)
2.3 功率表	(19)
2.3.1 功率测量原理	(19)
2.3.2 D26 型单相功率表	(20)
2.4 万用表	(23)
2.4.1 测量原理	(23)
2.4.2 MF-10 型万用表	(25)
2.4.3 UT-52 型万用表	(27)
2.5 兆欧表	(31)

2.5.1	电阻测量原理	(31)
2.5.2	K3007A 型兆欧表	(33)
2.6	交流毫伏表	(35)
2.6.1	交流毫伏表原理	(36)
2.6.2	EM2171 型交流毫伏表	(36)
2.7	示波器	(37)
2.7.1	波形显示原理	(37)
2.7.2	YB4325 型示波器	(39)
2.7.3	DS1000 型数字存储示波器	(42)
2.8	信号发生器	(49)
2.8.1	信号发生原理	(49)
2.8.2	EM1643 型信号发生器	(49)
2.9	直流稳压电源	(50)
2.9.1	直流稳压原理	(50)
2.9.2	EM1715 型三路直流稳压电源	(51)

第三章 电工基础性实验

实验 3.1	基本电工仪表的使用及测量误差的计算	(53)
实验 3.2	常用电工仪表的使用	(57)
实验 3.3	电路元件伏安特性的测绘	(59)
实验 3.4	电位、电压的测定及电路电位图的绘制	(62)
实验 3.5	基尔霍夫定律的验证	(65)
实验 3.6	叠加原理的验证	(66)
实验 3.7	电压源与电流源的等效变换	(69)
实验 3.8	戴维南定理和诺顿定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	(72)
实验 3.9	最大功率传输条件测定	(76)
实验 3.10	典型电信号的观察与测量	(79)
实验 3.11	RC 一阶电路的响应测试	(81)
实验 3.12	二阶动态电路响应的研究	(84)
实验 3.13	R、L、C 元件阻抗特性的测定	(86)
实验 3.14	用三表法测量电路等效参数	(88)
实验 3.15	正弦稳态交流电路相量的研究	(91)
实验 3.16	RC 选频网络特性测试	(95)

实验 3.17	R 、 L 、 C 串联谐振电路的研究	(99)
实验 3.18	功率因数及相序的测量	(102)
实验 3.19	三相负载的星形连接	(104)
实验 3.20	三相负载的三角形连接	(106)
实验 3.21	单相铁芯变压器特性的测试	(108)
实验 3.22	二端口网络测试	(110)
实验 3.23	受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的实验研究	(113)
实验 3.24	负阻抗变换器	(117)
实验 3.25	回转器	(120)

第四章 电工综合性实验

4.1	电工仪表的设计	(124)
4.1.1	指针式直流电压表的设计	(124)
4.1.2	指针式直流电流表的设计	(125)
4.1.3	指针式欧姆表的设计	(126)
4.2	电工元件参数的测量	(127)
4.2.1	电桥法	(127)
4.2.2	RLC 串联谐振法	(129)
4.2.3	电压法	(130)
4.2.4	时间常数法	(131)
4.3	数模转换器的设计	(132)
4.4	放大电路的设计	(134)

第五章 电工虚拟实验

5.1	Multisim 2001 简介	(136)
5.2	Multisim 2001 的基本界面	(137)
5.2.1	Multisim 2001 的主界面	(137)
5.2.2	Multisim 2001 的菜单栏	(138)
5.2.3	Multisim 2001 的工具栏	(142)
5.2.4	Multisim 2001 的元器件库	(143)
5.3	Multisim 2001 的基本操作	(144)
5.3.1	Multisim 2001 电路的创建	(144)
5.3.2	Multisim 2001 子电路的创建	(146)
5.3.3	Multisim 2001 仪器仪表的调用	(147)

5.4 Multisim 2001 基本分析方法	(152)
5.4.1 直流工作点分析 (DC Operating Point Analysis)	(152)
5.4.2 交流分析 (AC Analysis)	(154)
5.4.3 应用举例	(156)
5.5 电工虚拟实验教学软件简介	(162)
5.6 电工虚拟实验教学软件操作方法	(163)
5.7 电工虚拟实验教学项目介绍	(165)
附录 A 电工自主实验系统简介	(167)
一、自主实验环境	(167)
二、综合实验平台	(169)
三、实验指导体系	(171)
附录 B 常用电工元件与设备	(174)
一、电阻器	(174)
二、电容器	(175)
三、电感器	(176)
四、电位器	(177)
五、变压器	(178)
六、互感器	(179)
七、调压器	(179)
八、稳压器	(180)
九、电源	(180)
十、电机	(180)
十一、其他	(181)
附录 C 电阻、电容的辨识	(182)
一、色环电阻的辨识	(182)
二、电容的辨识	(183)
参考文献	(184)

第一章 概 述

在现代科学技术及工程建设中，电工技术的应用十分广泛。分析和设计常用的电路，已经成为高等院校学生不可缺少的一项基本技能。掌握现代电工技术离不开实验。实验是最能反映科学方法的活动，是科学探究过程中收集证据的重要环节。电工理论和电工技术就是在实验的推动下向前发展的。

1.1 电工理论的发展

1600年，英国物理学家吉伯发现，琥珀和煤玉摩擦后能吸引轻小物体，并制作了第一只验电器，其中心固定了一根金属细棒，当与摩擦过的琥珀靠近时，金属细棒可转动指向琥珀。

大约在1660年，德国的盖利克发明了第一台摩擦起电机。1745年，荷兰的穆申布鲁克发明了能保存电的莱顿瓶，为电的进一步研究提供了条件，对于电知识的传播起到了重要的作用。1752年富兰克林在雷雨天气将风筝放入云层，实验证明了雷闪就是放电现象，并发明了避雷针，这是电的第一个实际应用。他还提出了电荷守恒定律，并引入了正负电的概念。

18世纪后期开始了电荷相互作用的定量研究。1776年，普里斯特利发现带电金属容器内表面没有电荷，猜测电力与万有引力有相似的规律。1769年，鲁宾逊实验发现：作用在一个小球上电力和重力是平衡的，第一次直接测定了两个电荷相互作用力与距离的二次方成反比。1773年，英国化学家和物理学家卡文迪什通过实验推算出电力与距离的二次方成反比，他的这一实验是近代精确验证电力定律的雏形。

1785年，库仑设计了精巧的扭秤实验，直接测定了两个静止点电荷的相互作用力与它们之间的距离二次方成反比，与它们的电量乘积成正比。库仑的实验得到了世界的公认，为电的研究开辟了新方向。从此电学的研究进入科学行列。

1800年，意大利物理学家伏特发明了第一块电池。他的实验装置是一系列按同样顺序叠起来的银片、锌片和用盐水浸泡过的硬纸板组成的柱体，叫做伏打电堆。他还发明了电容器。伏特作为电压单位，就是为纪念他而命名的。此后，各种化学电源蓬勃发展起来。1822年塞贝克进一步发现，将铜线和另一种金属（铋）线连成回路，并维持两个接头的不同温度，也可获得微弱而持续的电流，这就是热电效应。1800年卡莱尔和尼科尔森用低压电流分解水；同年里特成功地从水的电解中搜集了两种气体，并从硫

酸铜溶液中电解出金属铜。

1807年,英国化学家戴维利用庞大的电池组先后电解得到钾、钠、钙、镁等金属;1811年他用2000个电池组成的电池组制成了碳极电弧,从19世纪50年代起它成为灯塔、剧院等场所使用的强烈光源,直到70年代才逐渐被爱迪生发明的白炽灯所代替。

1820年,丹麦物理学家奥斯特在一次课堂演示实验中发现了电流的磁效应:当电流通过导线时,会引起导线近旁的磁针偏转。电流磁效应的发现开拓了电学研究的新纪元,启动了电学和磁学的统一进程。奥斯的发现首先引起法国物理学家的注意,同年即取得一些重要成果,如安培关于载流螺线管与磁铁等效性的实验;阿喇戈关于钢和铁在电流作用下的磁化现象;毕奥和萨伐尔关于长直载流导线对磁极作用力的实验等。此外,安培还做了一系列电流相互作用的精巧实验得到了电流元之间相互作用力的规律,成为认识电流产生磁场以及磁场对电流作用的基础。他按照分子电流提出了磁性模型,开创了独立于静电学的电动力学。电流磁效应的发现打开了电应用的新领域。

1825年斯特金发明了电磁铁,为电的广泛应用创造了条件。1833年高斯和韦伯制造了第一台简陋的单线电报;1837年惠斯通和莫尔斯分别独立发明了电报机,莫尔斯还发明了一套电码,利用他所制造的电报机通过在移动的纸条上打上点和划来传递信息。

1854年,法国电报家布尔瑟提出用电来传送声音的设想。1861年,贝尔发明了电话,作为收话机,它仍用于现代,而其发话机则被爱迪生发明的碳发话机以及休士发明的传声器所改进。1866年,英国物理学家汤姆生设计的大西洋海底电缆铺设成功。1826年,德国物理学家欧姆为了确定电路定律,用两个接触点温度恒定因而高度稳定的热电动势做实验,得到电路中的电流强度与他所谓的电源的“验电力”成正比,比例系数为电路的电阻。他用公式表明了电流与电动力和电阻之间的关系,这就是著名的欧姆定律。由于当时的能量守恒定律尚未确立,“验电力”的概念是含混的。1848年,德国物理学家基尔霍夫从能量的角度考查,澄清了电位差、电动势、电场强度等概念,使欧姆理论与静电学概念协调起来。在此基础上,基尔霍夫解决了分支电路问题。1831年,杰出的英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象。紧接着他做了许多实验确定电磁感应的规律,发现当闭合线圈中的磁通量发生变化时,线圈中就产生感应电动势,感应电动势的大小取决于磁通量随时间的变化率。

1833年,俄国物理学家楞茨阐述了电磁场感应的电流方向,即楞茨定律,给出了感应电流方向的描述。而诺埃曼概括了他们的结果,给出了感应电动势的数学公式。

1831年,法拉第在电磁感应的基础上制出了第一台发电机。此外,他把电现象和其他现象联系起来广泛进行研究,在1833年成功地证明了摩擦起电和伏特电池产生的电相同,1834年发现电解定律,1845年发现磁光效应,并解释了物质的顺磁性和抗磁性,他还详细研究了极化现象和静电感应现象,并首次用实验证明了电荷守恒定律。电磁感应的发现为能源的开发和广泛利用开创了崭新的前景。1866年,德国人西门子发明了可供实用的自激发电机;19世纪末实现了电能的远距离输送;电动机在生产和交通运输中得到广泛使用,从而极大地改变了工业生产的面貌。

法拉第丰硕的实验研究成果为电磁现象的统一理论准备了条件。诺埃曼、韦伯等物

理学家对电磁现象的认识曾有过不少重要贡献，但他们在建立统一理论方面并未取得成功。这一工作后来由卓越的英国物理学家麦克斯韦完成。麦克斯韦认为变化的磁场在其周围的空间激发涡旋电场；变化的电场引起媒质电位移的变化，电位移的变化与电流一样在周围的空间激发涡旋磁场。麦克斯韦明确地用数学公式把它们表示出来，从而得到了电磁场的普遍方程组——麦克斯韦方程组，并预言光也是一种电磁波。1888年，德国物理学家赫兹根据电容器放电的振荡性质，设计制作了电磁波源和电磁波检测器，通过实验检测到电磁波，测定了电磁波的波速，并观察到电磁波与光波一样，具有偏振性质，能够反射、折射和聚焦。从此麦克斯韦的理论逐渐为人们所接受。麦克斯韦电磁理论通过赫兹电磁波实验得到验证，开辟了一个全新的领域——电磁波的应用和研究。1895年，俄国的波波夫和意大利的马可尼分别实现了无线电信号的传送。1901年，马可尼第一次建立了横跨大西洋的无线电联系。

1896年，荷兰物理学家洛伦兹提出的电子论，将麦克斯韦方程组应用到微观领域，并把物质的电磁性质归结为原子中电子的效应。这样不仅可以解释物质的极化、磁化、导电等现象以及物质对光的吸收、散射和色散现象，而且还成功地说明了关于光谱在磁场中分裂的正常塞曼效应；此外，洛伦兹还根据电子论导出了关于运动介质中的光速公式，把麦克斯韦理论向前推进了一步。

从电工理论发展的历程可以看出，电工理论的每一次重要进展都离不开科学家所进行的各种实验。实验是科学家发现客观规律、奠基物理定律的重要手段，同时也是我们学习、理解、掌握和运用知识的得力助手。

1.2 电工实验的原则

从电工理论的发展可以看出，实验在学科发展过程中起着重要的作用。作为一种教学手段和方法，电工实验教学也是电工教学中十分重要、不可缺少的环节。电工实验教学应该始终贯穿于整个电工课程教学，实验教学可以帮助学生更好地理解和掌握电工知识；实验过程是一个丰富多彩的认识和发现的过程，它可以帮助学生获取电工课程的核心概念。

电工实验可以分为：验证性、设计性和综合性等三类实验。在电工实验中，验证性实验占较大比例，比如：“常用电工仪器仪表的使用”、“线性有源单口网络的测定”等都属于验证性实验。通过验证性实验，可以复现电路现象和规律，帮助我们加深对电路概念和定理的理解。设计性实验要求针对具体问题，运用某方面知识，设计实验电路和实验方法，得出正确结论。比如：“复数阻抗参数的测定”就属于设计性实验。综合性实验要求全面、综合应用所学的电工与电路知识，解决实际问题。验证性、设计性和综合性实验构成了电工实验课程层次性、全面性的体系，为培养良好的实验技能和工程素质打下基础。

电工实验应该遵循以下原则：

一、独立完成实验

实验是培养观察能力、分析能力、动手能力的过程,也是培养科学思想、科学方法、科学态度的过程。在电工实验中,需要使用多种电工仪器、仪表和元器件,会遇到各种问题,比如:实验现象与期望的现象不一致等。如果遇到困难,通过认真分析、查找问题的原因,并提出解决办法,最终得到了正确的实验现象和结果,那么实验不仅达到了掌握电工知识的目的,而且更达到了培养科学和工程素养的目的。因此,在电工实验中,一定要坚持独立自主完成实验。

二、加强实验的计划性、目的性

电工实验是有目的和计划的,进行验证、探究电工与电路原理和方法的科学研究活动。既然是科学研究活动就来不得半点马虎,就要遵守科学研究的一般规律和方法。在实验之前,要制定详细的实验计划,包括实验的目的、实验原理、实验方法、实验步骤、实验数据处理、实验过程中需要使用的仪器和仪表以及实验过程中可能出现的问题和解决办法等;实验过程中,严格遵守实验步骤、认真观察实验现象、记录实验数据、解决各种问题和困难;实验之后,处理实验数据、分析结果的合理性、总结实验中的现象和问题、撰写实验报告。

三、实验内容延伸到课外

知识的学习和掌握是一个连续的过程,电工技术的原理和规律不可能在一节实验课内得以解决,需要课外继续开展。比如:综合运用已经学习的电工知识,参加课外制作、发明竞赛,通过多种形式的课外实践促进课堂学习。

1.3 电工实验的目的和要求

一、目的

1. 进行实验基本技能训练;
2. 巩固、加深和扩大所学到的理论知识、培养运用基本理论来分析、处理实际问题的能力;
3. 培养实事求是、严肃认真、踏实细致的科学作风和良好的实验习惯,为今后的专业实践与科学研究打下坚实的基础。

二、要求

通过电工实验,学生应在实验技能方面达到以下要求:

1. 识别和使用万用表、电流表、电压表、晶体管毫伏表及常用电工实验仪表;了

解仪表工作原理、适用场合、准确度等级；掌握仪表的接线方法和读数方法，合理选择量程，减小误差。

2. 初步掌握实验中用到的信号发生器、示波器、稳压电源等实验仪器和相关实验平台、实验系统的使用方法。

3. 根据每个实验要求，正确设计实验电路，选择实验设备和器材；掌握按图连接电路的技能，要求连线正确、布局合理、调试方便；能够判断电路的正常工作状态及故障现象，能够检查线路中的断线及接触不良。

4. 能够认真观察和分析实验现象，运用正确的实验手段，采集实验数据、记录实验数据；科学地分析实验数据；书写有论据支持的实验报告。

5. 对于综合性、设计性实验，充分发挥学生积极性、主动性。根据实验任务和要求，课前认真准备，制定实验方案，设计实验电路；课堂正确选择和使用仪器、仪表、元器件，严谨地记录和处理实验数据；课后，回顾和总结实验内容和过程，发现问题并回答问题。

6. 了解电路仿真软件 MultiSim，利用 MultiSim 所提供的元件来搭建模拟电路；通过 MultiSim 所提供的仪器、仪表来观察实验现象，提高实验分析和研究的能力。

1.4 电工测量基础知识

1.4.1 电工测量的内涵

电工测量就是借助测量设备，把未知的电量或磁量与作为测量单位的同类标准电量或标准磁量进行比较，从而确定这个未知电量或磁量（包括数值和单位）的过程。一个完整的测量过程，通常包含三个要素：测量对象、测量方式和方法、测量设备。

一、测量对象

电工测量的对象主要是反映电和磁特征的物理量，如电流（ I ）、电压（ V ）、电功率（ P ）、电能（ W ）以及磁感应强度（ B ）等；反映电路特征的物理量，如电阻（ R ）、电容（ C ）、电感（ L ）等；反映电和磁变化规律的非电量，如频率（ f ）、相位（ φ ）、功率因数（ $\cos\varphi$ ）等。

二、测量方式

测量方式主要有如下两种：

1. 直接测量

在测量过程中，能够直接将被测量与同类标准量进行比较，或能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量，从而直接获得被测量的数值的测量方式称为直接测量。例如，用电压表测量电压、用电度表测量电能以及用直流电桥测量电阻等都是直接

测量。直接测量方式广泛应用于工程测量中。

2. 间接测量

当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律 $R = U/I$ 计算出被测电阻 R 的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

三、测量方法

在测量过程中,作为测量单位的度量器可以直接参与也可以间接参与。根据度量器参与测量过程的方式,可以把测量方法分为直读法和比较法。

1. 直读法

用直接指示被测量大小的指示仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上读取被测量数值的测量方法,称为直读法。直读法测量时,度量器不直接参与测量过程,而是间接地参与测量过程。例如,用欧姆表测量电阻时,从指针在刻度尺上指示的刻度可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的,因为欧姆表刻度尺的刻度事先用标准电阻进行了校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表,间接地参与了测量过程。直读法测量的过程简单,操作容易,读数迅速,但其测量的准确度不高。

2. 比较法

将被测量与度量器在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法称为比较法。例如,用天平测量物体质量时,作为质量度量器的砝码始终都直接参与了测量过程。在电工测量中,比较法具有很高的测量准确度,可以达到 $\pm 0.001\%$,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备也比较昂贵。根据被测量与度量器进行比较时的不同特点又可将比较法分为零值法、较差法和替代法三种。

(1) 零值法

零值法又称平衡法,它是利用被测量对仪器的作用,与标准量对仪器的作用相互抵消,由指零仪表做出判断的方法。即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态,此时按一定的关系可计算出被测量的数值。显然,零值法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和指零仪表的灵敏度。

(2) 较差法

较差法是通过测量被测量与标准量的差值,或正比于该差值的量,根据标准量来确定被测量的数值的方法。较差法可以达到较高的测量准确度。

(3) 替代法

替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量仪器,在标准量替代被测量时,调节标准量,使仪器的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量的数值。用替代法测量时,由于替代前后仪器的工作状态是一样的,因此仪器本身性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地克服了所有外界因素对测量结果的影响。替代法测量的准确度主要取决于度量器的准确度和仪器的灵敏度。

四、测量设备

对被测量与标准量进行比较的测量设备，包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量所需的仪器仪表，统称为电工仪表。电工仪表是根据被测电量或磁量的性质，按照一定原理构成的。电工测量中使用的标准电量或磁量是电量或磁量测量单位的复制体，称为电学度量器。电学度量器是电气测量设备的重要组成部分，它不仅作为标准量参与测量过程，而且是维持电磁学单位统一，保证量值准确传递的器具。电工测量中常用的电学度量器有标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感等。

除以上三个主要方面外，测量过程中还必须建立测量设备所必需的工作条件；慎重地进行操作，认真记录测量数据；考虑测量条件的实际情况进行数据处理，以确定测量结果和测量误差。

1.4.2 电工测量误差

一、误差的表示

误差是指示值与真值的偏离程度。准确度与误差的含义是相反的，但两者又是紧密联系的，测量结果的准确度高，其误差就小，因此，在实际测量中往往采用误差的大小来表示准确度的高低。由于制造工艺的限制及测量时外界环境因素和操作人员因素，误差是不可避免的。设测量结果（指示值）为 A_x ，被测量真实值（真值）为 A_0 ，则

1. 绝对误差

$$\Delta A = A_x - A_0$$

2. 相对误差

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$$

3. 示值误差

$$\gamma_x = \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\%$$

4. 引用误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%$$

式中， A_m 为仪表量限即满标度值。

二、误差分类

在测量过程中，由于受到测量方法、测量设备、试验条件及观测经验等多方面因素的影响，测量结果不可能是被测量的真实数值，而只是它的近似值，即任何测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差别，这种差别称为测量误差。

根据产生测量误差的原因，可以将其分为系统误差、偶然误差和粗大误差三大类。

1. 系统误差

能够保持恒定不变或按照一定规律变化的测量误差，称为系统误差。系统误差主要是由于测量设备、测量方法的不完善和测量条件的不稳定而引起的。由于系统误差表示了测量结果偏离其真实值的程度，即反映了测量结果的准确度，所以在误差理论中，经常用准确度来表示系统误差的大小。系统误差越小，测量结果的准确度就越高。

2. 偶然误差

偶然误差又称随机误差，是一种大小和符号都不确定的误差，即在同一条件下对同一被测量重复测量时，各次测量结果服从某种统计分布；这种误差的处理依据概率统计方法。产生偶然误差的原因很多，如温度、磁场、电源频率等的偶然变化等都可能引起这种误差；另一方面观测者本身感官分辨能力的限制，也是偶然误差的一个来源。偶然误差反映了测量的精密度，偶然误差越小，精密度就越高，反之则精密度越低。

系统误差和偶然误差是两类性质完全不同的误差。系统误差反映在一定条件下误差出现的必然性；而偶然误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。

3. 粗大误差

测量过程中操作、读数、记录和计算等方面的错误所引起的误差称为粗大误差。显然，凡是含有粗大误差的测量结果都是应该摒弃的。

三、误差的消除方法

测量误差是不可能绝对消除的，但要尽可能减小误差对测量结果的影响，使其减小到允许的范围内。消除测量误差，应根据误差的来源和性质，采取相应的措施和方法。一个测量结果中既存在系统误差，又存在偶然误差，要截然区分两者是不容易的。所以应根据测量的要求和两者对测量结果的影响程度，选择消除方法。一般情况下，在对精密度要求不高的工程测量中，主要考虑对系统误差的消除；而在科研、计量等对测量准确度和精密度要求较高的测量中，必须同时考虑消除上述两种误差。

1. 系统误差的消除

对测量仪表进行校正：在准确度要求较高的测量结果中，引入校正值进行修正。

消除产生误差的根源：正确选择测量方法和测量仪器，尽量使测量仪表在规定的使用条件下工作，消除各种外界因素造成的影响。

采用特殊的测量方法：如正负误差补偿法、替代法等。例如，用电流表测量电流时，考虑到外磁场对读数的影响，可以把电流表转动 180 度，进行两次测量。在两次测量中，必然出现一次读数偏大，而另一次读数偏小，取两次读数的平均值作为测量结果，其正负误差抵消，可以有效地消除外磁场对测量的影响。

2. 偶然误差的消除

消除偶然误差可采用在同一条件下，对被测量进行足够多次的重复测量，取其平均值作为测量结果的方法。根据统计学原理可知，在足够多次的重复测量中，正误差和负误差出现的可能性几乎相同，因此偶然误差的平均值几乎为零。所以，在测量仪器仪表选定以后，测量次数是保证测量精密度的前提。