

电路原理 实验指导书

重庆大学电路原理课程组编

主 编 苏向丰

副主编 张 谦

主 审 谢品芳



GD 02534151



科学出版社

电路原理实验指导书

重庆大学电路原理课程组编

主 编 苏向丰

副主编 张 谦

主 审 谢品芳



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书分两部分,第一部分为电路实验基础知识,主要讲述测量的基本知识、测量误差、电测量指示仪表、电路参数和功率的直读测量、常用较量仪器和实验须知。第二部分为电路原理实验,本部分安排四个直流电路实验、两个动态电路实验、两个电路频率特性实验、四个电工基础实验、两个综合实验。

本书可供普通高等学校电气信息、电子信息专业师生使用,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理实验指导书/苏向丰主编;重庆大学电路原理课程组编. —北京:科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058691-9

I. ①电… II. ①苏… ②重… III. ①电路理论—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 202418 号

责任编辑:范运年/责任校对:彭 涛

责任印制:师艳茹/封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中国画美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 9 月第一次印刷 印张:9 3/4

字数:216 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

《电路原理实验》是电气信息、电子信息专业的一门实践基础教材，对学生理解和巩固电路的基本原理、提高实践能力具有非常重要的意义。通过本书学习，学生可以学到常用电工测量仪表的基本原理和使用方法；掌握基本的电工测试技术；了解测量误差和测量数据的处理方法。通过实验，学生能理解和掌握电路基本理论；培养理论联系实际的科学态度；提高电工实验技能和分析处理实际问题的能力；为后续课程的学习打下基础。

综合实验有助于提高学生综合实验能力；学习数字化实验设备的使用；拓宽电工技术应用知识面；增强创新意识。

本书基于 2005 年重庆大学张金珠、李盛才、串禾编的基本电磁测量教材内容进行编写，同时参考很多其他院校的相关的电路实验指导书。本书经过课程组的老师多年教学改革和实践，可作为一个独立的教学体系，优化实验内容，结合实际教学设备进行教学。承蒙谢品芳教授对初稿进行仔细审阅，提出多项宝贵意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

恳请各校师生及其他读者批评指正。

编 者

2017 年 10 月

目 录

前言

第一部分 电路实验基础知识

第一章 测量的基本知识	3
第一节 引言	3
一、测量的重要性	3
二、课程的基本任务	3
第二节 测量的基本概念	3
一、测量的定义	3
二、测量的分类	4
三、测量设备的分类	5
四、度量器	5
第二章 测量误差	8
第一节 测量误差及其分类	8
一、测量误差的定义	8
二、误差的分类	8
三、系统误差	9
四、随机误差	10
五、疏失误差	10
第二节 常用误差表达式及仪表准确度	11
一、常用误差表达式	11
二、仪表的准确度	12
第三节 工程测量误差的估算	13
一、直接测量时误差的估算	14
二、间接测量中误差的估算	14
第四节 测量数据的处理	17
一、有效数字的概念及表示	17
二、数值修约的规则(见国标 GB8170-2008)	18
三、有效数字的运算规则	18
四、测量数据的记取	19
五、测量结果的填写	19
六、实验数据的列表表示法	19
七、实验数据的图形表示	20
第三章 电测量指示仪表	21
第一节 电测量指示仪表的基本知识	21
一、电测量指示仪表分类、标识和型号	21

二、电测量指示仪表的组成及基本工作原理	24
三、仪表技术特性	26
第二节 磁电系仪表	27
一、磁电系仪表的结构、原理	27
二、磁电系电流表、电压表	28
三、整流系仪表	30
四、磁电系直流检流计	31
五、欧姆表	35
六、兆欧表	37
第三节 电磁系仪表	40
一、结构和工作原理	40
二、电磁系电流表和电压表	42
第四节 电动系仪表	42
一、结构和工作原理	42
二、电动系电流表、电压表	44
三、电动系功率表	45
第五节 电测量指示仪表的选择	49
一、仪表类型的选择	49
二、仪表准确度的选择	49
三、仪表量程的选择	49
四、仪表内阻的选择	49
五、仪表工作条件的选择	50
第四章 电路参数和功率的直读测量	51
第一节 电阻的直读测量	51
一、欧姆表、兆欧表法	51
二、伏安法	51
第二节 交流电路参数的直读测量	52
一、伏安法测 L 、 C	52
二、三表法测交流阻抗	53
第三节 功率的直读测量	55
一、三相电路有功功率的测量	55
二、三相电路无功功率的测量	58
第五章 常用较量仪器	61
第一节 直流电位差计	61
一、直流电位差计的工作原理	61
二、直流电位差计的应用	62
三、直流电位差计的分类及选择	63
第二节 电桥	64
一、直流单电桥	64
二、直流双臂电桥	65
三、交流电桥	67

第六章 实验须知	69
第一节 实验的要求与须知	69
一、实验前的准备	69
二、实验工作	69
三、实验报告的编写	70
第二节 实验设备的选配原则及操作规定	70

第二部分 电 路 实 验

第七章 直流电路应用实验	75
实验一 电桥法测电阻	75
一、实验目的	75
二、实验原理与说明	75
三、实验内容	78
四、实验设备	78
五、实验报告要求	78
六、复习及思考题(讨论)	78
实验二 用直流电位差计检验仪表	79
一、实验目的	79
二、电位差计的结构和使用方法	79
三、实验内容	82
四、注意事项	83
五、实验报告要求	83
六、复习及思考题(讨论)	83
实验三 负阻变换器	84
一、实验目的	84
二、负阻变换器结构原理	84
三、实验内容与步骤	87
四、实验报告要求	88
五、实验注意事项	89
六、仪器设备	89
七、思考题(讨论)	89
实验四* 回转器的研究	90
一、实验目的	90
二、实验原理与说明	90
三、实验电路	92
四、实验内容	92
五、复习与思考题	94
六、实验报告要求	94
七、实验设备	94
第八章 动态电路时域特性研究	95
实验五 一阶电路的零输入响应和零状态响应	95

一、实验目的	95
二、实验原理与说明	95
三、实验内容及步骤	99
四、实验设备	99
五、实验报告要求	100
六、思考题(讨论)	100
实验六 RLC 串联电路的响应和状态轨迹	100
一、实验目的	100
二、实验原理与说明	100
三、实验内容及步骤	104
四、注意事项	105
五、实验报告要求	105
六、仪器设备	106
七、思考题	106
第九章 电路的频率特性研究	107
实验七 谐振电路的测试	107
一、实验目的	107
二、实验原理与说明	107
三、实验内容	110
四、实验报告要求	110
五、思考题	110
实验八 低通滤波器	111
一、实验目的	111
二、实验原理与说明	111
三、实验步骤	115
四、实验报告要求	115
五、实验设备	115
六、思考题	115
第十章 电工基础实验	117
实验九 用三表法测量 R 、 L 、 C 参数	117
一、实验目的	117
二、实验内容与步骤	117
三、报告内容	118
四、实验设备	118
五、注意事项	118
六、复习及思考题	119
实验十 功率因数的提高	119
一、实验目的	119
二、实验原理与说明	119
三、实验内容与步骤	122
四、实验报告要求	122

五、思考题(讨论)·····	122
六、实验设备·····	122
七、注意事项·····	123
八、电工技术实验台操作面板·····	123
实验十一 三相星形负载电路的测试·····	123
一、实验目的·····	123
二、实验原理与说明·····	124
三、实验内容及步骤·····	125
四、几点说明·····	126
五、注意事项·····	127
六、实验报告要求·····	127
七、思考题·····	128
八、电工技术实验台操作面板·····	128
九、实验设备·····	128
实验十二 三相三角形负载电路的测试·····	129
一、实验目的·····	129
二、实验原理与说明·····	129
三、实验内容及步骤·····	130
四、注意事项·····	131
五、实验报告要求·····	131
六、实验设备·····	131
第十一章 综合性测试实验·····	132
实验十三 DC/DC 变换器·····	132
一、实验目的·····	132
二、DC/DC 升压型变换器工作原理·····	132
三、实验内容·····	137
四、实验步骤·····	137
五、实验设备·····	137
六、实验报告要求·····	137
七、思考题(讨论)·····	138
实验十四 有源电路的分析与实验·····	138
一、实验目的·····	138
二、实验电路原理与分析·····	138
三、有源二阶带通滤波器的实验电路·····	140
四、实验内容及步骤·····	141
五、实验报告要求·····	142
六、实验设备·····	142
参考文献·····	143

第一部分 电路实验基础知识

第一章 测量的基本知识

第一节 引言

一、测量的重要性

在现代科学技术中，测量是获取信息的重要手段。测量不仅在科学技术领域占有重要的地位，在工农业生产、企业管理、经济贸易、日常生活中都占有重要的地位。测量技术的发展体现了一个国家科学技术的发展水平，得到世界各国相关部门的重视。

电工测量包括电测和磁测两个方面。

电测包括电压、电流、功率、电能、相位、频率、电阻、电感、电容、介质损耗、品质因数等参数的测量。

磁测包括磁场强度、磁通、磁感应强度、磁势、磁导率、磁滞损耗、涡流损耗等参数的测量。

电工测量具有灵敏度高、准确度高、容易实现自动及遥控测量，易于利用电子技术、计算机技术、数据处理技术、自动控制技术等优点，不仅如此，许多非电量还可以转换为电量进行测量。本书仅涉及电测。

二、课程的基本任务

学习测量基本电量的原理和测量方法；学习常用电工仪表和仪器的结构、原理、特性和使用方法；了解工程测量的误差分析及数据处理。通过实验，能更好地掌握电路理论；培养理论联系实际的学风和科学态度、提高分析处理实际问题的能力；能根据科研、生产中的一般需要，正确选择仪器仪表和测量方法，能正确地进行实验和操作仪器设备，记录处理实验数据，撰写出规范的实验报告。

第二节 测量的基本概念

一、测量的定义

测量是为了确定被测对象的量值而进行的全部操作。

通常测量结果的量值由两部分组成：数值(大小及正负号)和相应的单位名称。说得更具体一点，所谓测量，就是用实验的方法，把被测量(未知量)与同类的标准单位量(已知量)进行比较的过程。

二、测量的分类

获得被测量结果的方式有多种,即测量方法有多种。测量可以从不同角度进行分类。

1、根据获得测量结果的不同方式分

(1)直接测量法:从测量仪器上直接得到被测量的测量方法,其特点是操作简便。测量时,测量的目的和测量的对象是一致的,不涉及其他的量。例如,用电流表测量电流,用电桥测量电阻,用高斯计测量磁通密度等。

(2)间接测量:通过测量与被测量有函数关系的其他量,进行一定的运算才能得到被测量的测量方法。例如,用伏安法测电阻时,是通过测量该电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后由欧姆定律算出电阻值。

当被测量不能被直接测量,或直接测量很复杂,或间接测量比直接测量能获得更准确的结果时,常采用间接测量法。间接测量时,测量目的和测量对象是不一致的。

(3)组合测量:在一系列的直(间)接测量总和的基础上,通过解一系列的方程式后,获得被测量结果的方法。例如,为了测量某电源的电动势 E 及内阻 R_1 ,可用一个电流表和一个可调标准电阻串联接到电源两端构成测量电路,如图 1-1-1 所示。

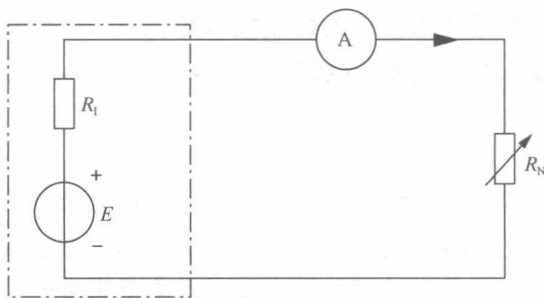


图 1-1-1

其中, R_A 是已知电流表的内阻, R_N 为可调标准电阻。将 R_N 分别调至两个适当的阻值 R_1 和 R_2 , 并读对应的电流表的电流 I_1 和 I_2 , 列出方程:

$$\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 (R_A + R_1) \\ E = I_2 R_1 + I_2 (R_A + R_2) \end{cases}$$

即可解方程得 E 及 R_1 。

2、根据在测量过程中有无标准量直接参与比较

(1)直读测量法(直读法):直接根据仪器仪表的读数得到被测量的方法。例如,用电流表测量电流,用功率表测量功率等。

这种测量法的特点是标准量不直接参与作用而是间接地参与比较。比如仪表的刻

度尺是在制造时由标准量参与分度。正因为如此,这种测量法设备简单,操作简便,缺点是测量准确度不高。

(2) 比较测量法(比较法):测量过程中被测量与标准量(又称度量器)直接进行比较而获得测量结果的测量方法。例如用电桥法测电阻,每次测量中作为标准量的标准电阻都要参与比较。比较测量法测量结果准确,灵敏度高,适用于精密测量,但操作较繁琐、测量仪器较贵。

以上两种分类中,直读法与直接测量法以及比较法与间接测量法,彼此并不相同,但又互有交叉。如测量电阻,当对准确度要求不高时,可以用欧姆表直接测量或用伏安法间接测量。二者都属于直读法。当要求测量精度较高时则可用电桥法直接测量,它属于比较法。

实际测量中采用哪种测量方法,应根据被测量的准确度要求、量值范围,以及实验条件是否具备等多种因素决定。

三、测量设备的分类

实现测量过程所用的技术工具的总和称为测量设备,测量设备包括三类。

1、度量器

作为测量单位或测量单位的分数、整数倍的复制实体就是度量器(或称量具),例如用天平测量质量用的砝码、测量长度的量块、标准电池、标准电阻等都是常用的度量器。它们分别是质量单位千克、长度单位米、电势单位伏特、电阻单位欧姆的复制实体。

2、直读仪表

能直接指示被测量的数值和单位的仪表称为直读式仪表。使用这类仪表进行的测量称为直读测量,其优点是操作简单,快捷;缺点是准确度较低(数字仪表除外)。

3、较量仪器

能使被测量与度量器直接比较而确定被测量大小及单位的仪器称为比较测量仪器。例如电桥、电位差计等。使用这类仪器进行的测量方法称为比较法,其特点是操作较繁琐,但准确度高。

下面简单介绍电工测量的常用度量器,直读仪表及仪器将辟专章予以介绍。

四、度量器

根据度量器在量值传递上的作用和不同的准确度,将度量器分为基准度量器(基准器)、标准度量器(标准器)和工作度量器三类。

1、基准器

基准器是现代科学技术水平所能达到的最高准确度的度量器，由国际和各国的最高计量部门保存，对维持国际、国内计量标准的统一、准确起保证作用。在我国，基准器由中国计量科学院保存。

2、标准器

准确度低于基准器，供计量中心对工作度量器进行标定或检定时使用。

3、工作度量器

准确度低于标准器，广泛应用于科研、生产及日常测量中。

下面简单介绍电工测量中的几种工作度量器。

(1) 标准电池。标准电池是复现“伏特”量值的标准量具。这种特制的原电池，在正确制造和使用下，其电动势极其稳定，电动势与温度的关系可以准确掌握。根据电解液的浓度分饱和标准电池和不饱和标准电池两种。

饱和标准电池的结构如图 1-1-2 所示。在整个使用温度范围内，电池的电解液中均含有硫酸镉晶体，因此电解液总是饱和的。温度恒定时饱和标准电池的电动势极其稳定，但温度系数较大，因此，当电池不是在 20℃ 下使用时，必须按以下经验公式予以更正。

$$E_t = E_{20} - 39.9 \times 10^{-6}(t - 20) - 0.94 \times 10^{-6} \times (t - 20)^2 + 0.009 \times 10^{-6}(t - 20)^3 \text{ (V)} \quad (1-1-1)$$

式中， E_{20} 为 20℃ 时的电动势； t 为使用时的实际温度。

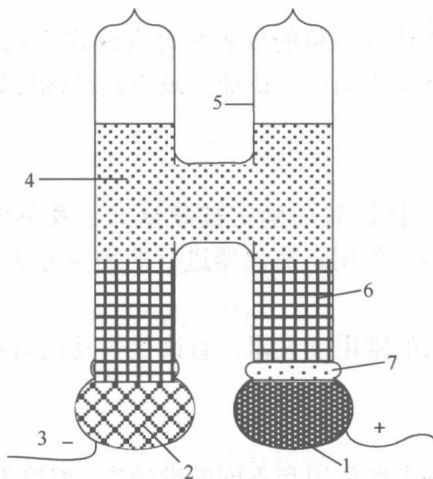


图 1-1-2 饱和标准电池的原理性结构

1-汞(+)；2-镉汞剂(-)；3-铂引线；4-硫酸镉饱和溶液；
5-玻璃外壳；6-硫酸镉结晶体；7-硫酸亚汞

、不饱和标准电池的结构与饱和标准电池相同,只是当温度高于 4°C 时电解液为未饱和状态。不饱和标准电池的电动势稳定性较饱和标准电池低得多。优点是它的电动势随温度变化较小,通常在允许工作范围内不须作温度更正。

使用标准电池时,不得过载;极性不能接反;严禁倒置、摇晃和振动,必须按规定的正常位置放置,平稳携取。

(2) 标准电阻。标准电阻是电阻单位欧姆的度量器,通常由锰铜制成,标准电阻通常作成四个端钮,较粗的一对是电流端钮,利用这对端钮将标准电阻串入电路,较细的一对是电位端钮,用它与测量仪表相连接。标准电阻铭牌上给出的是 20°C 时的阻值 R_{20} , 如果在规定范围内的其他温度下进行精密测量,其阻值 R_t 应按下式修正:

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

式中, t 为实际温度; α 与 β 为标准电阻的一次与二次温度系数。

不特别指明的标准电阻是为测量直流电而设计的,仅适用于直流测量。在交流电路中进行测量时要采用交流标准电阻。将若干标准电阻按一定形式连接,组合成阻值为十进制的可调电阻箱,在工厂和实验室中得到广泛应用。

(3) 标准电感(线圈)。标准电感通常是用绝缘细导线绕在大理石或瓷质支架上的平式线圈。为了使电感值较稳定,且与电流大小和频率高低无关,因此要求:①结构坚固,不易变形;②电阻值要低;③涡流损耗小;④分布电容小;⑤线圈本身及支架均无铁磁物质。

标准电感除了标准自感外,还有标准互感及可变标准电感。标准电感用于交流测量。

(4) 标准电容器。标准电容器按其介质不同分为空气电容器和云母电容器两种。小容量的标准电容器都以空气为介质,大容量固定电容器以云母为介质,但其介质损耗和温度系数都较大。

对标准电容器的要求有:①电容量长期稳定;②温度系数小;③介质损耗低;④电容量受频率变化的影响小。

第二章 测量误差

第一节 测量误差及其分类

一、测量误差的定义

由于诸多因素的影响，测量的结果只能是被测量的近似值。测定值与实际值之间的差别叫做测量误差。测量误差是客观存在的，只能使其减小，不能完全消除。

研究测量误差的目的在于分析误差产生的原因、性质和规律，以减小误差对测量结果的影响；选择正确的测量方法；合理的设计，制造或选择测量设备。总的来说，应在规定的测量误差范围内，以最经济的手段、最高的效率完成测量任务。

二、误差的分类

1、按误差的基本性质、特点分类

- (1) 系统误差：误差的绝对值或符号恒定或按一定规律变化。
- (2) 随机误差：误差的绝对值和符号都不固定，但在大量重复测量中遵从统计规律。
- (3) 疏失误差：明显歪曲测量结果的误差。

2、按产生误差的来源分类

- (1) 工具误差：测量仪表系统不完善引起的误差。
- (2) 方法误差：基于测量仪表工作原理测量方法本身存在误差。
- (3) 人员误差：测量人员的个人特点、不良习惯等引起的误差。

3、按仪表工作条件分类

- (1) 基本误差：仪表在规定工作条件下使用时所产生的误差。
- (2) 附加误差：仪表在偏离工作条件下使用时所产生附加的误差。

4、按误差的表达形式分类

- (1) 绝对误差：被测量给出值与真值之差值。
- (2) 相对误差：绝对误差与真值之比的百分数。
- (3) 引用误差：绝对误差与仪表量限之比的百分数。

下面对按基本性质分类的误差进行简单介绍。