

中国科学技术大学出版社

# 电工基础 实验指导书

刘良成 编著

中国科学技术大学出版社

# 电工基础实验指导书

刘良成 编著

中国科学技术大学出版社

2001·合肥

## 内 容 简 介

本书是一本实验课教材,介绍了电路原理、磁路和电磁场实验的基本方法、测试手段和实验内容,基本上涵盖了电路原理、磁路与电磁场方面的所有最常用的实验。全书共分为3个部分:第1部分为电气测量知识初步与实验常用仪器仪表使用介绍,第2部分为基本实验内容,第3部分为计算机在实验中的应用简介。

实验的内容与相关课程的理论教学内容联系紧密,有利于学生增加对相关课程的学习兴趣,并且可以提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等院校电气工程类本、专科以及相关专业的“电路”、“电磁场”等课程的配套实验课教材,也可以作为非电类专业“电工学”和“电路分析”等课程的配套实验课教材,并可以作为电气测量技术方面工程技术人员的参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工基础实验指导书/刘良成编著. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2001.9  
ISBN 7-312-01289-2

I. 电… II. 刘… III. 电工实验—高等学校—教学参考资料 IV. TM-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第043632号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号, 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本: 787×1092/16 印张: 9.5 字数: 243千

2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

印数: 1—5000册

定价: 15.00元

# 前 言

本实验指导书是结合邱关源编著的《电路》(第4版)和冯慈璋编著的《电磁场》(第2版)等相关教材的内容,总结了合肥工业大学多年“电路”理论课教学的模块式教学法的经验,在原有的实验指导讲义的基础上编写而成的。为了紧密联系理论课的模块式教学法,我们把实验也分为基础性、提高性和综合设计性3个层次。基础性实验主要由教师和实验师现场指导,具有现成的、相对统一的实验模式。提高性实验是在基础性实验做完之后,由具有丰富实验教学经验的实验教师,根据学生的要求和实验指导教材的思考题,在审查和论证学生提出的实验方案可行后,再进行该实验,或进行部分实验的重做。综合设计性实验则是在“电路”理论课讲授完之后,或对高年级的学生开放实验室,由学生独立完成实验的全过程。另外,由于计算机技术的不断发展,仿真技术的实现变得更加容易,因此,本书在编写时加入了实验的计算机仿真方面的内容。

全书共分为3个部分:第1部分介绍电工基础实验的若干常用仪器设备及其使用方法,第2部分为实验指导,第3部分为实验的计算机仿真。各授课教师可根据教学大纲的要求和实际情况,选择电路(不少于12个实验)、磁路和电磁场(不少于3个实验)方面的实验内容。每个实验平均为3学时。

由于“电路”是电类各专业的重要专业基础课,因此电工基础实验对于学生掌握实验技能与提高动手能力有着重要的意义。所以,对学生的具体要求是:

- (1) 实验前认真预习实验的内容,了解实验仪器的配置情况。
- (2) 通过实验,能够正确地掌握常用的实验测试仪器如示波器、信号发生器、各种模拟与数字电工测量仪表(电压表、电流表、万用表、功率表)以及稳压稳流电源的使用方法。
- (3) 通过实验,掌握基本电量(电流、电压、功率)和电路参数(电阻、电感、电容)的测试技术。
- (4) 在实验中初步具有分析、寻找和排除实验电路中常见故障的能力。
- (5) 初步具有正确处理实验数据、分析实验误差的能力。
- (6) 能够独立写出符合事实、具有严谨的理论分析、文理通畅的实验报告。

本书由刘良成编著,在编写过程中得到了刘晓诚高级实验师的大力支持,同时尹均萍老师也提出了许多宝贵的意见。本书还参考了兄弟院校的相关实验指导书和有关资料,在此一并表示衷心的感谢。

本书最后由孙佩石副教授审定,他还在提高性实验的选题和可行性论证方面提出了不少建议。

限于水平有限,书中错误在所难免,恳请广大师生及读者批评指正。

编 者

2001年2月

# 电工基础 实验指导书

责任编辑 李攀峰  
封面设计 刘俊霞

DIANGONGJICHUSHIYANZHIDAOSHU

DIANGONGJICHUSHIYANZHIDAOSHU

DIANGONGJICHUSHIYANZHIDAOSHU

ISBN 7-312-01289-2



9 787312 012891 >

ISBN 7-312-01289-2/TM · 14

定价: 15.00 元

# 目 次

前言	I
绪论	1
实验的预习	1
实验操作	2
撰写实验报告	3

## 第1部分 电工测量知识初步

第1章 直读式电工测量仪表	7
仪表的分类	7
仪表的特性	9
磁电系仪表	11
电磁系仪表	17
电动系仪表	19
第2章 较量式电工测量仪表	23
直流单电桥	23
直流双电桥	24
交流电桥	25
直流电位差计	27
第3章 常用电子仪器及其使用	30
直流稳压稳流电源	30
低频信号发生器与函数发生器	34
示波器	39
其他仪器仪表	44
功率表、万用表及其他	48

## 第2部分 实验指导

实验1 理想电流源与电压源	57
实验2 含受控源电路的研究	60
实验3 叠加原理和互易原理	67
实验4 戴维宁定理和诺顿定理	70
实验5 一阶电路的响应	74
实验6 二阶电路的响应	78

实验 7	三表法测交流电路参数	81
实验 8	功率因数的提高	85
实验 9	串联谐振	89
实验 10	互感特性的研究	93
实验 11	三相负载的连接	97
实验 12	三相电路功率的测量	100
实验 13	非正弦周期电流电路的研究	103
实验 14	P-C 双 T 选频网络的研究	106
实验 15	直流无源二端口网络的研究	109
实验 16	多端元件的特性测量——回转器	113
实验 17	无损耗传输线	117
实验 18	电场模拟	120
实验 19	磁化曲线的测定	122
实验 20	磁场模拟	125
实验 21	部分电容的测定	127
实验 22	交变电磁场演示实验	132

### 第 3 部分 实验的计算机仿真

实验 1	实验的计算机仿真简介	137
实验 2	电子工作台在电路实验中的应用	143

# 绪 论

实验是一种认识世界或事物、检验理论正确与否的实践工作。从事任何实验，均要求实验人员具备相应的理论知识、实验技能以及归纳总结实验结果的能力。电路实验是电气工程领域最基本的实验，内容包括电路理论、基本电工测量仪器仪表的使用以及基本电工测量方法等，其基础性，决定了它在电类本、专科专业的教学进程中起到提高学生的专业理论水平、培养学生基本实验技能的奠基作用。

一个电路实验，从相关知识的预习开始，经过电路连接、观察测试到数据处理，直至撰写出完整的实验报告为止，其中各个环节完成的好坏，均影响实验的质量。

## 实验的预习

设计任何电路实验都有一定的目的，并且为此而提出实验任务。预习时，要恰当地运用基本理论阐述清楚实验原理；综合考虑实验环境和实验条件，分析所设计的实验和所提出的任务的可行性；最后预计实验结果，并写出预习报告。预习报告包括：

### 1. 实验标题

实验标题是对实验的最好概括。通过实验标题，使实验者时刻明白自己在进行什么实验，并围绕这一中心内容而开展一系列的工作。

### 2. 实验目的

电路理论教学实验通过对学生基本实验技能的训练，培养其用基本理论知识分析问题、解决问题的能力 and 严肃认真的科学态度、细致踏实的实验作风。通过实验培养连接电路、电工测量、故障排除等方面的实验技巧，通过实验学习常用电工仪器仪表的基本原理和使用方法，通过实验学习数据的采集和处理、对各种现象的观察和分析等。根据各个实验内容的不同，实验目的的侧重点也不同，在实验预习报告中要体现。

### 3. 实验原理

实验原理包括基本理论的应用、实验线路的设计、测量仪表的选择和实验测量的方案确定等。其中要注意，实验的电路与电路理论中的电路图是不同的，需要包括测量电路在内，考虑测量仪器怎样接入电路等。完成这一部分内容要求复习有关的理论，熟悉实验电路，了解所需的电路元件、仪器仪表及其使用方法。

### 4. 明确任务，设计实验操作步骤

实验任务必须保证达到实验目的。为完成实验任务所设计的实验操作步骤必须细致，充分考虑各种因素，如仪器设备和人身安全、多个数据测量的先后顺序等。值得注意的是，



在电路实验的初始阶段，某些细致的实验操作步骤设计是对今后从事电气工作良好习惯的培养。例如，考虑仪器设备的安全，应用仪表测量之前合适量的选择，多功能仪表测量前旋钮的定位，可调电源通电前一般先置零，通电后再调到合适位置，等等。考虑人身安全，必须严格遵守先接线后通电、先断电后拆线的操作顺序等。

## 5. 确定观察内容、待测数据和记录数据的表格

实验中要测量的物理量包括由实验目的所直接确定或为获得这些物理量而确定的间接物理量、反映实验条件的物理量及作为检验用的物理量等，观察内容包括示波器的波形曲线、仪表指针的偏转方向等。预习时必须拟定好所有记录数据和有关内容的表格，对于要求首先进行理论计算的内容也要在此时完成，并且填入表格。

## 实验操作

实验操作是在详细的预习报告的指导下，在实验室进行整个实验的过程，包括熟悉、检查及使用实验仪器仪表与实验器件，连接实验线路，实际测试与数据记录和实验后的整理等工作。

### 1. 实验的仪器仪表与实验的器件

实验器件不同于理想元件，同一性质的器件会因型号、用途等不同而在外观上有较大差异。在电路实验中，涉及到的实验器件包括电阻器、电感器、电容器、回转器、运算放大器、变压器等，仪器仪表包括电压源、电流源、信号发生器、示波器、电压表、电流表、功率表、电度表等，这些将都在实验室中认识、了解和熟悉。

### 2. 连接实验线路

这一环节为实验系统的关键，需要注意3个方面：

#### (1) 实验对象的摆放

实验用电源、负载、测量仪器仪表等应该合理摆放。一般原则为：摆放后布局合理，即位置、距离、跨线要求短；便于操作，即调整和读数方便；连线简单，即要求用线最少。

#### (2) 连接顺序

连接的顺序要根据电路的复杂程度和个人的操作熟练程度而定。对于初学的学生，要求能够按照电路图一一对应连接。对于复杂的电路，一般先接串联支路，后接并联支路，最好每个接线点不要多于两根导线，最后接电源。同时，要考虑元件和仪表的极性、参考方向、公共地端与电路图的对应位置等。

#### (3) 接线检查

对照实验电路图，由左到右或从电路有明显标记处开始，逐一检查，不能漏掉任何一根连线。对于初学者，这一项最困难，但它既是对电路连接的再次实践，又是建立电路原理图与实物安装图之间内在联系的训练机会。同时，对于连接好的线路的细致检查，也是保证实验顺利、防止事故发生的重要措施。因此，不能忽视电路的检查工作。

在正常情况下，利用检查好的电路就可以进行实验测试了。但是，有时也会出现意想

不到的故障，必须首先排除故障，以保障实验的顺利进行。实验中的故障一般是线路故障，查找这些故障可以采用以下两种方法：

#### (1) 断电检查法

当线路接错线，出现电源短路、开路等错误时，应该立即关闭电源，然后使用万用表的欧姆挡，对照实验电路原理图，对电路中的每个元件和接线逐一检查，根据检查点的电阻大小找出故障。

#### (2) 通电检查法

当实验电路工作不正常，或出现明显错误的结果时，使用万用表的电压挡，对照实验电路原理图，逐一对每个元件和接线进行检查，根据电压的大小找出故障点。一般的顺序为：

- ① 检查接线是否有错；
- ② 检查电源是否正常工作，包括有无输出、输出是否符合要求等；
- ③ 检查电路中的元件是否正常工作，元件与测量仪表的连接是否牢固，以及导线是否良好；
- ④ 检查测量仪表是否正常工作，输入输出是否有，量程是否适当，测试线是否良好，需要电源的是否通电等。

### 3. 实际测试和记录数据

这一环节为实验过程中最重要的环节。一般为了保证实验数据的可信度，需要在实际测量之前进行一下预测，此时不必仔细读数据和记录，主要观察各个被测量的变化情况和出现的现象。其目的有两个：

(1) 可以通过预测发现可能出现的设备接线松动、虚焊，连接导线的隐藏断点，实验接线的错误、碰线等故障，排除后可以确保实验的正常进行。

(2) 通过预测可以让实验者有一个实验全过程的数量概念，了解被测量的变化范围，选择合适的仪表量程；了解被测量的变化趋势，确定实际测量时合理选取数据的策略。

预测结束，恢复实验系统后，就可以按照预习报告的实验步骤进行实际实验操作，观察现象，完成实验任务。实验数据应该记录在预习报告中拟定好的表格里，并注明名称和单位。如果需要重新测量，则要在原来的表格边重新记录所得到的数据，不要轻易涂改原始数据，以便比较和分析。在测量过程中，应该尽可能地及时对数据作初步分析，以便及时发现问题，当即采取措施，以提高实验的质量。

实验完成后，不要忙于拆除线路。应该先关闭电源，待检查实验所得到的数据没有遗漏和明显错误后再拆线。一旦发现异常，需要在原有的实验线路下查找原因，并作出相应的分析。

### 4. 实验结束后的整理工作

全部实验结束后，应该将所用的实验设备复归原位，导线整理成束，清理实验台桌，然后离开实验室。

## 撰写实验报告

实验报告是对于实验工作的全面总结，要对实验的目的、原理、任务、设备、过程和分析等主要方面有明确的叙述。

撰写实验报告的主要工作是实验数据的处理。此时要充分发挥曲线和图表的作用，其中的公式、图表、曲线应该有符号、编号、标题、名称等说明，保证叙述条理清楚。为了保证实验的可信度，要求有实验指导老师签字的原始记录数据。

此外，实验报告中还应该有实验中发现的问题、现象及事故的分析、实验的收获及心得体会等，并回答思考问题。

实验报告的最重要部分是实验结论，它是实验成果。对此结论，必须有科学的根据和来自理论与实验的分析。

总之，一个高质量的实验，来自于充分的预习、认真的操作和全面的实验总结。每个环节都必须认真对待，才能达到预期的实验目的。

**附：电路实验报告格式**

电路实验报告		姓名：_____ 班级：_____ 学号：_____
预 习 部 分	实验名称：	实 验 部 分
	实验目的：	
	实验原理：	
	实验数据表格：	
实 验 部 分	实验电路接线图：	实 验 后 部 分
	实验数据记录或波形：	
	指导教师签字_____日期_____	
	实验设备：	
	实验过程：	
	数据处理：	
	实验分析与思考题解答：	
	结论与心得体会：	
	成绩考核	
	优____良____中____及格____不及格____	

# 第 1 部分

## 电工测量知识初步

本部分将对电工测量的一般知识作简要的介绍，包括误差知识，电工仪表的分类、原理，以及实验室常用仪器仪表、装置的使用方法和注意事项等。

# 第 1 章 直读式电工测量仪表

人类认识自然界和改造自然界都必须对各种物理量进行测量，确定它们的数据，掌握其规律。电工测量就是应用电磁学的基本规律，对电流、电压、功率等电磁量进行测量，而测量的工具是电工仪表。

## 仪表的分类

电工仪表按测量方式的不同，可分为直读式仪表、较量式仪表和数字式仪表。

### (1) 直读式仪表

被测量可以直接由仪表的指示机构中读出，如安培表、伏特表、功率表等。

### (2) 较量式仪表

将被测量与标准量进行比较而得出结果，又称为比较式仪表，其特点是准确度高，如电桥、电位差计等。

### (3) 数字式仪表

应用现代电子技术，其指示机构采用数字显示装置，可由数字指示直接读出被测量。它仍然属于直读式仪表的范畴，但它既具有直读式仪表使用方便的特点，又具有较量式仪表准确度高的特点，因而从直读式仪表中分出，称为数字式仪表。由于数字电路的知识同学们还未掌握，故这里略去对它的介绍。

直读式仪表的分类如下：

### (1) 按被测量的种类分类

见表 1-1-1。

表 1-1-1 电工测量仪表按被测电量分类

被测 电量	电 流			电 压			电功率		电能量	相位差	频率	电 阻	
	安培计	毫安计	微安计	毫伏计	伏特计	千伏计	瓦特计	千瓦计	千瓦时计	相位计	频率计	欧姆计	兆欧计
符号	A	mA	$\mu$ A	mV	V	kV	W	kW	kWh	$\varphi$	f	$\Omega$	M $\Omega$

### (2) 按照工作原理分类

见表 1-1-2。

表 1-1-2 电工测量仪表按工作原理分类

型 式	测量种类	工作方式
磁电系	电流、电压、电阻	直流
整流系	电流、电压	工频或较高频率交流
电磁系	电流、电压	直流或工频交流
电动系	电流、电压、电功率、 功率因数、电能量	直流、工频或较高频率交流

图 1-1-1 为不同型式仪表的标志符号。

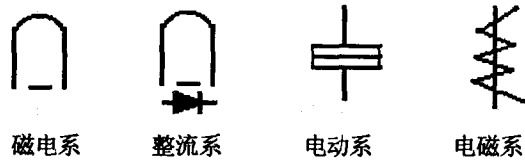


图 1-1-1 不同型式仪表的标志符号

### (3) 按照工作电流方式分类

可分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

### (4) 按照准确度分类

目前，我国的直读式电工仪表按照准确度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5 共 7 个等级。

通常，在直读式电工仪表上还有一些标记，其表示的意义见表 1-1-3。

表 1-1-3 电工仪表上的几种标记

符 号	意 义
—	直流
∞	交流
∞	交直流
3∞或≡	三相交流
⊥或↑	仪表垂直放置
→或┐	仪表水平放置
∠50°	仪表倾斜 50° 放置
2kV	仪表绝缘试验电压为 2000V
1.0	准确度 1.0 级
I II III IV	仪表防外磁场等级
A B C	仪表工作环境等级

其中，防外磁场等级指按在外界磁场强度为 398A/m（即 50e）时仪表的读数所允许的变化，分为 4 个等级，见表 1-1-4。工作环境等级指仪表在何种环境中适用，分为 A、B、C 三组，见表 1-1-5。

表 1-1-4 防外磁场等级对照表

等级	仪表读数允许变化（满刻度的百分比）
I	±0.5
II	±1.0
III	±2.5
IV	±5.0

表 1-1-5 工作环境对照表

	A	B	C
温度（℃）	0~+40	-25~+50	-40~+60
相对湿度	≤80%	≤85%	≤98%

## 仪表的特性

### 1. 灵敏度

若某一被测量的参数  $x$  有一个增量  $\Delta x$ ，测量仪表的示值  $\alpha$  就产生一个增量  $\Delta\alpha$ ，灵敏度  $S$  的定义为  $\Delta\alpha$  与  $\Delta x$  的比值，即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (1-1-1)$$

可见，灵敏度为常数的仪表刻度均匀。灵敏度的数值与被测量的性质有关，灵敏度的高低决定仪表的量限，所以灵敏度高的仪表量限就不会大。因此，在测量过程中要选用灵敏度适当的仪表。

### 2. 准确度和精度

准确度是指仪表的最大相对额定误差的大小，即前一节中的 7 个级别，仪表准确度的级别定义具体见误差的表示方法。而精度是指仪表能读出几位有效数字，如甲仪表能够读出 3 位有效数字，乙仪表能够读出 4 位有效数字，则乙仪表比甲仪表精度高。

### 3. 测量误差

物理量的本身存在一个客观的真值  $x_0$ ，严格地说，一般的真值  $x_0$  是一个无穷位数的量，不管是现在还是将来，用多么精密的仪器，都只能测量  $x_0$  的有限近似值  $x$ ，两者之间的差  $\Delta x = x - x_0$  就是误差。因此，误差因时代技术与人们认识程度的不同而有不同的结果，也会因主观因素的影响、客观条件的干扰而有差异。



实验工作者的基本任务之一就是有效的方法减少误差，如进行多次测量、改造仪器、修正理论、克服主观因素影响、创造客观条件等。测出的数值与被测量的实际值之差称为测量误差。测量误差可以分为如下两类：

### (1) 系统误差

由于仪器制造中的缺陷、理论探讨不完善而使每次测量误差均向一个方向偏离，其数值一定或按照一定规律变化，这种误差称为系统误差。主要包括仪器误差、理论（方法）误差和个人误差。

#### ① 仪器误差

由于仪器本身制造的缺陷或没有按规定的条件使用而造成的误差。如仪器轴与轴承之间的摩擦，弹簧的永久变形，刻度不准确，规定在 20℃ 使用的电阻在 30℃ 情况下使用等。

#### ② 理论（方法）误差

由于测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件不能达到所规定的要求，或测量方法不当所带来的误差。如用伏安法测量电阻时内阻的影响等。

#### ③ 个人误差

由于测量或观测者的个人生理或心理特点造成的误差。如在用停表计时时，有人失之过长，有人失之过短。

系统误差的特点是出现有规律，要么所有测量结果都大于真值，要么所有测量结果都小于真值。增加测量次数不能减小它。消除和纠正系统误差的方法是对仪表进行校正、修正实验方法或在计算公式中引入一些修正项等。

### (2) 偶然误差

在排除了系统误差的因素后，测量者在精心测量时，也会因为个人的感官灵敏程度、仪器的精密程度有限、周围环境的干扰和随测量而产生的偶然因素等而产生的误差。由于这种误差有偶然性，而且测量的数值或大或小，无规律，所以称为偶然误差。

偶然误差具有这样的特点：

- ① 绝对值相等的正误差和负误差出现的几率相等。
- ② 绝对值小的误差出现的几率比绝对值大的误差出现的几率大。
- ③ 偶然误差的算术平均值随测量次数的增加而减小，最后趋于零，即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0 \quad (1-1-2)$$

因此，增加测量次数，计算算术平均值比较接近真实值。所以，在实验中要多次测量。不过，一般电路实验测量的次数为 3~6 次即可。

总之，为使测量结果尽可能准确，选择合适的仪表、合适的工作环境和正确的测量方法，并进行仔细的操作，才能达到预定的测量结果。

## 4. 误差的表示方法

### (1) 绝对误差

测量得到被测量的值  $A_x$ （读数）与被测量的实际值  $A_0$  之差称为绝对误差  $\Delta A$ ，即

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1-1-3)$$