

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



电工技术

田玉丽 王 广 刘东晓 主 编
王立亚 李桂兰 韩 莉 副主编



中国电力出版社

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

高职高专电气自动化技术专业规划教材
GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



电工技术

主 编 田玉丽 王 广 刘东晓
副主编 王立亚 李桂兰 韩 莉
编 写 成 兰 张中委
主 审 王世才



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。本书共分为7个模块，主要包括直流电路分析及测量、交流电路分析及测量、常用电工工具与仪表的使用、变压器、低压电器的认识与维护、电机与控制、安全用电。本书将理论知识学习、实践能力和综合素质提高三者紧密结合起来，为学生后续课程的学习，培养综合职业技能打下基础。

本书可作为高职高专院校电气自动化及相关专业的教材，也可作为中等职业院校教材，同时还可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/田玉丽，王广，刘东晓主编. —北京：中国电力出版社，2009

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-9202-8

I. 电… II. ①田…②王…③刘… III. 电工技术-高等学校：技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 132166 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8月第一版 2009年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15印张 366千字

定价 24.00 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

高职高专电气自动化技术专业规划教材

编 委 会

主 任 吕景泉

副主任 狄建雄 凌艺春 谭有广 周乐挺 郝汉琪

秘书长 李兆春

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁学恭 马伯华 王 燕 王 薇 王永红

刘玉娟 刘玉梅 刘保录 孙成普 孙忠献

何 颖 何首贤 张 池 张永飞 张学亮

张跃东 李方园 陆锦军 陈 赵 姚永刚

姚庆文 郭 健 钱金法 常文平 韩 莉

前言

依据国务院和教育部大力发展职业教育的指导精神，为体现高职高专教育“以就业为导向，以育人为根本，以提高学生技能为主线”的思想，我们对电类专业面向的岗位（群）职业能力和工作任务进行调研与分析，将理论知识学习、实践能力和综合素质提高三者紧密结合起来，并重视学生校内学习与实际工作的一致性，以及学生可持续发展能力的培养，编写了《电工技术》这本教材。

电工技术课程是高等职业院校电类专业的专业基础课程。其教学目标是使学生具备从事电类专业职业工种必需的电工通用技术基础知识和基本技能，并为学生学习后续课程，提高全面素质，形成综合职业能力打下基础。

本书具有以下特点：

（1）教材内容的选取，根据电类专业岗位人才规格需求和高职教育人才培养目标，针对课程涉及的职业岗位及其涵盖的职业工种，结合职业资格取证中对电工技能的要求和知识体系，突出以学生为中心，以职业能力培养为主线，并贯穿到课程教学的全过程，具有较强的通用性、针对性和实用性。

（2）教材遵循高职教育教学要求，采用基于工作过程的任务驱动教学法，全书共分七个模块，每个模块由若干任务组成。任务的组织与安排根据高职学生的认知规律由易到难，通过任务的实施，完成由实践到理论再到实践的学习过程。

（3）教材内容紧密结合生产实际，并注意及时跟踪先进技术的发展。对基础理论和基本方法的论述清晰简明，应用了大量的图示表达方式，能够大大提高学生的阅读兴趣，并增加了相关技术在生产中应用的实例，引导学生主动学习。

（4）教材注重教学过程的实践性、开放性、职业性和可操作性，将知识能力、专业能力和社会能力融入课程中，实现“教、学、做、评”四步教学法。

本书由田玉丽、王广、刘东晓担任主编，王立亚、李桂兰、韩莉担任副主编，成兰、张中委参与了编写。模块一、三由平顶山工业职业技术学院田玉丽、河南城建学院王广编写，模块二、六、七由平顶山工业职业技术学院成兰、王立亚、李桂兰、韩莉编写，模块四、五由中国平煤神马能源化工集团张中委、平顶山工业职业技术学院刘东晓编写。全书由安徽电气工程职业技术学院王世才主审，并提出了许多宝贵意见。

在本书的编写过程中，参阅了多位同行专家的著作和文献，在此向他们表示感谢。

由于编者水平有限，书中的错误和不妥之处在所难免，殷切希望使用本书的同行专家和广大读者给予批评指正。

编者

2009年7月

目 录

前言

模块一 直流电路分析及测量	1
任务一 电阻器的识别与检测	1
任务二 电路元件伏安特性的测绘	13
任务三 基尔霍夫定律及应用	25
任务四 叠加定理及应用	33
任务五 戴维宁定理及应用	38
模块二 交流电路分析及测量	45
任务一 电容器、电感器的识别与检测	45
任务二 正弦交流电的基本概念	56
任务三 单一元件 VCR 的相量形式	61
任务四 日光灯的安装与维修	72
任务五 三相交流电路的分析及测量	88
任务六 暂态电路的时域分析	100
模块三 常用电工工具与仪表的使用	111
任务一 常用电工工具的使用	111
任务二 常用电工仪表的使用	120
模块四 变压器	129
任务一 变压器的认识	129
任务二 变压器的运行	138
模块五 低压电器的认识与维护	147
任务一 接触器的认识与维护	147
任务二 继电器的认识与维护	152
任务三 开关电器	164
任务四 熔断器	172
任务五 主令电器	176
任务六 低压电器的选配和修理	181
模块六 电机与控制	185
任务一 电机的认识	185
任务二 三相异步电动机的起动控制	196
任务三 三相异步电动机的制动控制	212
模块七 安全用电	218
任务一 安全用电常识	218
任务二 电气装置的保护接地和接零	226
参考文献	233

直流电路分析及测量

任务一 电阻器的识别与检测

【知识点】

- ◆ 电阻器的认识
- ◆ 用万用表测电阻的方法
- ◆ 电路中基本物理量
- ◆ 电路中电压、电流的测量

【技能点】

- ◆ 能够识别色环电阻的参数,正确使用万用表测量电阻的阻值,判断电阻器的质量
- ◆ 熟练使用电压表、电流表测量电压、电位及电流
- ◆ 正确读出各种数据,分析数据,判断电路的工作情况

一、任务描述

通过不同标示电阻实物的认识,掌握电阻参数代表的意义。通过万用表测量电阻的方法,学会判断电阻器的质量及阻值的测量。通过电路连线实训项目的训练,学会正确使用电压表、电流表、万用表,掌握电路中电压、电位、电流的测试。

二、任务分析

借助电工仪表进行不同类型电阻的测量,完成不同标示电阻的识别与质量的检测,保证电路连线的质量,顺利完成电路中电压、电流的测试。在测试过程中学会正确使用万用表、电压表、电流表,掌握电路测试的操作规范,为科学研究提供正确的数据。

三、相关知识

(一) 电阻器的种类

电阻器简称“电阻”,它是“阻碍”电流流动、消耗电能的一种器件,用字母 R 表示。其作用为:降低电压、分配电压、限制电流、分配电流、与电容配合作滤波器及阻抗匹配等。电阻器是电子设备中应用最广泛的元件之一。

电阻器按结构可分为固定电阻、可变电阻和敏感电阻;按材料和使用性质可分为膜式电阻、线绕式电阻、热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻;按特性可分为线性电阻和非线性电阻等。电阻器的外形与符号见图 1-1。

1. 固定电阻

电阻值不可调整的电阻称为固定电阻。常见的固定电阻有以下几种:

(1) 碳膜电阻 (RT)。碳膜电阻是以陶瓷管作骨架,在真空和高温下,沉积一层碳膜作导电膜,瓷管两端装上金属帽盖和引线,一般涂有橙色或绿色保护漆。碳膜电阻的主要特点是稳定性好、噪声低、价格便宜、阻值范围宽,适用于高频电路。

(2) 金属膜电阻 (RJ)。金属膜电阻是用真空蒸发法或烧结法在陶瓷骨架上被覆一层金

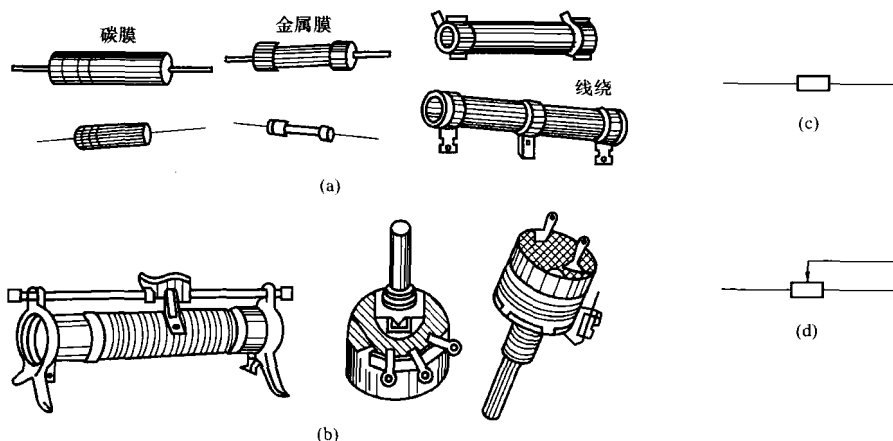


图 1-1 电阻器的外形与符号

(a) 固定电阻器；(b) 可变电阻器；(c) 固定电阻器的符号；(d) 可变电阻器的符号

属膜。它的各方面性能均优于碳膜电阻，且体积小于同功率的碳膜电阻。它广泛应用于稳定性及可靠性要求高的电路中。

(3) 金属氧化膜电阻 (RY)。金属氧化膜电阻的结构与金属膜电阻相似，不同的是导电膜为一层氧化锡薄膜，其特点是性能可靠、过负荷能力强、功率大。

(4) 实心碳质电阻 (RS)。实心碳质电阻是用石墨粉作导电材料，用粘土、石棉作填充剂，另加有机粘合剂，经加热压制而成。其优点是过负荷能力强、可靠性较高。缺点是噪声大、精度差、分布电容和分布电感大，不适宜要求较高的电路。

(5) 线绕电阻 (RX)。线绕电阻是用金属电阻丝绕制在陶瓷或其他绝缘材料的骨架上，表面涂以保护漆或玻璃釉制作而成。线绕电阻的优点是阻值精确、功率范围大、工作稳定可靠、噪声小、耐热性能好，主要用于精密和大功率场合。缺点是体积大、高频功能差、时间常数大、自身电感较大，不适用于高频电路。

2. 电位器 (可变电阻)

电位器实际上就是一个连续可调的电阻器，是靠滑动臂的接触刷在电阻体上滑动而获得变化的电阻值。电位器的种类很多，结构形式也多种多样，如有碳膜电位器、有机实芯电位器、线绕电位器、多圈电位器、带开关电位器、同轴电位器等。

(二) 电阻器和电位器的型号命名方法

根据国家标准，规定电阻器的型号由四部分组成，各部分的意义如图 1-2 所示。

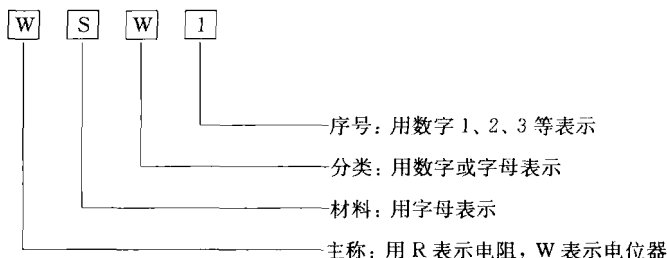


图 1-2 电阻器的型号命名方法

在实际选用电阻器时，主要考查前三部分，其型号命名及意义见表 1-1。

表 1-1 电阻器和电位器的型号命名及意义

电阻器和电位器的型号命名方法							
第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示分类		用数字表示序号	
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	常用个数或无数字表示	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通		
		P	硼碳膜	2	普通		
		U	硅碳膜	3	超高频		
		H	合成膜	4	高阻		
		I	玻璃釉膜	5	高温		
		J	金属膜（箔）	7	精密		
		Y	氧化膜	8	电阻：高压； 电位器：特殊		
W	电位器	S	有机实芯	9	特殊		
		N	无机实芯	G	高功率		
		X	线绕	T	可调		
		C	沉积膜	X	电阻：小型		
		G	光敏	L	电阻：测量用		
				W	电位器：微调		
				D	电位器：多圈		

（三）电阻器的主要参数

在实际应用中，一般考虑的有标称阻值、允许误差、额定功率等。

1. 标称阻值

标在电阻器上的电阻值简称标称阻值。

2. 允许误差

电阻器的实际值对于标称阻值的最大允许偏差范围称为电阻器的允许误差，它表示产品的精度。通用电阻器的标称阻值系列和允许误差等级见表 1-2。任何电阻器的标称阻值都应符合表 1-2 所列数值乘以 10^n ，其中 n 为整数。精密电阻的误差等级有 $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 等。

表 1-2 通用电阻器的标称阻值系列

系列	允许误差	标 称 阻 值
E24	$\pm 5\%$	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1
E12	$\pm 10\%$	1.1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	$\pm 20\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

使用时，将表 1-2 中的标称阻值乘以 10^n ，就可以成为这一阻值系列，例如 E24 系列 5.1，可以为 0.51Ω 、 5.1Ω 、 51Ω 、 510Ω 、 $5.1k\Omega$ 等。

3. 额定功率

指在规定的环境温度和湿度下,假设周围空气不流通,在长期连续工作而不损坏或基本不改变电阻器性能的情况下,电阻器上允许消耗的最大功率。

(四) 电阻器的标志识别

1. 直标法

在电阻体表面直接标注主要参数和技术性能。

2. 文字符号法

将字母和数字两者有规律地组合起来表示出电阻器的阻值与允许误差,标注在电阻体表面,如图 1-3 所示,最后的字母或数字表示允许误差。

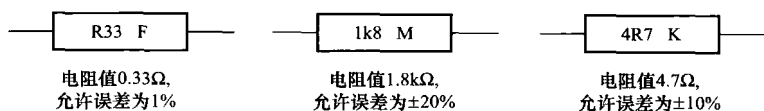


图 1-3 文字符号法电阻的示意图

允许误差有 0 级表示±2%,Ⅰ级表示±5%,Ⅱ级表示±10%,Ⅲ级表示±20%。允许误差也可以用字母表示,见表 1-3。

表 1-3 电阻器文字符号表示的允许误差

文字符号	允许误差	文字符号	允许误差
B	±0.1%	J	±5%
C	±0.25%	K	±10%
D	±0.5%	M	±20%
F	±1%	N	±30%
G	±2%		

电阻器单位文字符号见表 1-4。

表 1-4 电阻器单位文字符号

文字符号	单 位	文字符号	单 位
R	欧姆	G	千兆欧姆
k	千欧姆	T	兆兆欧姆
M	兆欧姆		

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega, 1\text{k}\Omega = 10^3\Omega.$$

如图 1-3 所示为文字符号法电阻的识别。

3. 色环标志法

用不同颜色来表示电阻器的阻值与允许误差。如图 1-4 所示。

第一、二道环各代表电阻的第一、第二位数;第三道环则代表倍率 10^n ,第四道环表示允许误差。例如某色环电阻前三道环的颜色分别为黄、紫、橙,第四道环为金,此电阻为 $47\text{k}\Omega \pm 5\%$ 。色环电阻的单位为欧姆,阻值环和误差环颜色所对应的数码和误差,见表 1-5。

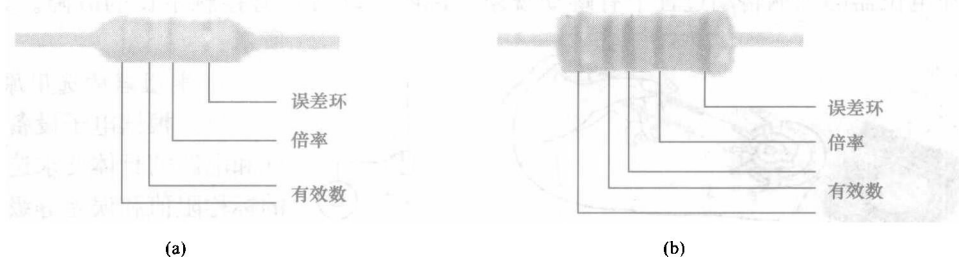


图 1-4 四道色环和五道色环电阻标示电阻器

(a) 四道色环; (b) 五道色环

表 1-5

不同颜色对应的数码和误差

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	无色
数码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
倍率	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}	
误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$			$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	± 0.15				$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

(五) 电阻器的检测与选用

电阻器的主要故障有过流烧毁、变值断裂、引脚腐蚀、脱焊等。电位器还经常发生滑动触头与电阻片接触不良等。

1. 首先观察外观

正常情况下,固定电阻外形端正,标识清晰,保护漆完好,颜色均匀,光泽好。

2. 用万用表的欧姆挡检测

检测前万用表要调零,调零后选择适当的量程,将表笔接被测电阻的两引线测量,表针指示数乘上量程倍数,即为被测电阻的阻值,应尽可能使万用表的表针指示在满刻度的 $1/3 \sim 2/3$ 之间。

将测量值与标识阻值比较,凡阻值超过允许误差范围的、内部短路阻值变小的、时断时通的和阻值不稳定的电阻均应丢弃不用。

3. 电位器的检测方法

(1) 检测标称阻值。用万用表的欧姆挡测“1”、“3”两端,其读数应为电位器的标称阻值,如万用表的指针不动或阻值相差很多,则表明该电位器已损坏。如图 1-5 所示。

(2) 检测电位器的活动臂与电阻片的接触是否良好。用万用表的欧姆挡测“1”、“2”(或“2”、“3”)两端,将电位器的转轴按逆时针方向旋至接近“关”的位置,这时电阻值越小越好。再顺时针慢慢旋转轴柄,电阻值应逐渐增大,表头中的指针应平稳移动。当轴柄旋至极端位置“3”时,阻值应接近电位器的标称值。如万用表的

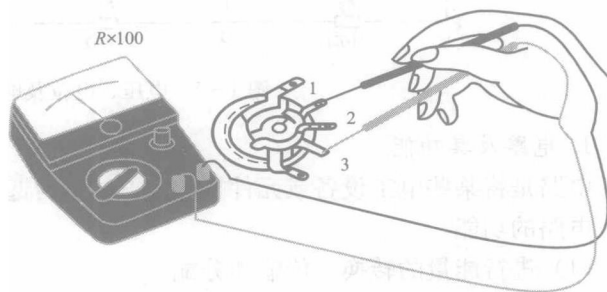


图 1-5 电位器的标称阻值的测量

指针在电位器的轴柄转动过程中有跳动现象,说明活动触点有接触不良的故障。如图 1-6 所示。

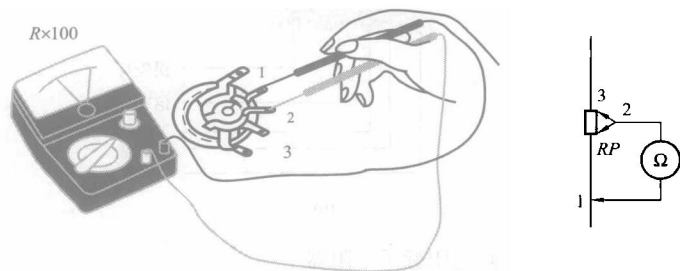


图 1-6 电位器的活动臂与电阻片的测量

4. 电阻器的选用原则

(1) 根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻器的标称阻值和误差等级。

(2) 选用电阻器的额定功率必须大于实际承受功率的两倍。

(3) 在高增益前置放大电路中,应选用噪声电动势小的金属

膜电阻器、金属氧化膜电阻器、线绕电阻器、碳膜电阻器等。线绕电阻器分布参数大,不宜用于高频前置放大电路。

(4) 根据电路的工作频率选择电阻器的类型。

(5) 根据电路对温度稳定性要求,选择电阻温度系数不同的电阻器。线绕电阻器的电阻温度系数小,阻值最为稳定。金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、碳膜电阻器和玻璃釉膜电阻器都具有较好的温度特性,适合于稳定度要求较高的场合。实心电阻器电阻温度系数较大,不宜用于稳定性要求较高的电路中。

5. 电位器的选用原则

(1) 根据用途选择阻值变化规律。如线性电位器、对数式电位器、指数式电位器。

(2) 根据电路的要求选择电位器的阻值、阻体材料、结构、类型、规格及调节方式。

(3) 合理选择电位器的参数。

(六) 电路的连接

根据电阻器的检测方法,检测图 1-7 中各电阻器的质量,按图 1-7 连接电路。用电压表与电流表测量电压与电流。

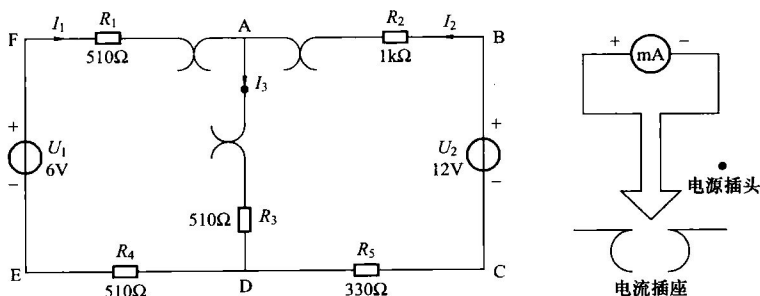


图 1-7 电压、电位及电流的测量

1. 电路及其功能

电路是将某些电工设备或元件按一定方式组合起来,构成电流的通路。

电路的功能:

(1) 进行能量的转换、传输和分配。

(2) 实现信号的传递、存储和处理。

2. 电路的组成

电路由电源、负载和中间环节三部分组成。电源提供电能，负载取用电能，中间环节传递、分配和控制电能。

3. 电路的基本物理量

(1) 电流。

1) 电流的大小和单位。电荷的定向移动形成电流。

电流大小：单位时间内通过导体截面的电量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

如果电流的大小和方向均不随时间变化，则称为恒定电流，即直流电流，为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交流电流。

在国际单位制 (SI) 中，电荷量的单位为库仑 (C)，时间的单位为秒 (s)，电流的单位为安培 (A)，小电流可用毫安 (mA)、微安 (μA)，大电流可用千安 (kA)，它们之间的关系为 $1\text{kA}=10^3\text{A}$ ， $1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}$ 。

2) 电流的方向。电流不但有大小，而且有方向。习惯上规定正电荷定向运动的方向为电流的方向，也称为电流的实际方向。

但在分析较为复杂的直流电路时，很难事先判断某支路电流的实际方向；对交流电流而言，其方向随时间而变，在电路中也无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此，在分析计算电路时，要引入电流参考方向的概念。我们可以任意选定一个方向作为电流参考方向，也称为正方向，并用箭头或双下标变量表示。例如

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

引入电流参考方向后，电流可正可负。如果求出的电流值为正，说明参考方向与实际方向一致，若求出的电流值为负，说明参考方向与实际方向相反。

(2) 电压。

1) 电压的大小和单位。电压是衡量电场力做功能力的物理量。在电路中，电场力把单位正电荷从 a 点移至 b 点所做的功，称为 a、b 点两点间的电压，用 u_{ab} 表示。即

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1-4)$$

在国际单位制 (SI) 中，功的单位为焦耳 (J)，电荷量的单位为库仑 (C)，电压的单位为伏特 (V)，低电压可用毫伏 (mV)、微伏 (μV)，高电压用千伏 (kV)，它们之间的关系为 $1\text{kV}=10^3\text{V}$ ， $1\text{V}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}$ 。

如果电压的大小和方向均不随时间而变化，则称为恒定电压，即直流电压，为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-5)$$

2) 电压的方向。电压不但有大小，而且有方向。电压的实际方向是从高电位指向低电位，故电压又称为电压降。

电压与电流一样，在分析计算电路时，也要事先引入电压参考方向的概念。我们可以任意选定一个方向作为电压参考方向。电压参考方向有三种表示法：箭头、双下标变量及

“+、-”号表示。例如

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-6)$$

引入电压参考方向后,电压可正可负。如果求出的电压值为正,说明参考方向与实际方向一致,若求出的电压值为负,说明参考方向与实际方向相反。

电压、电流的参考方向原则上可任意选定。但为分析问题方便,对同一个电路或同一个

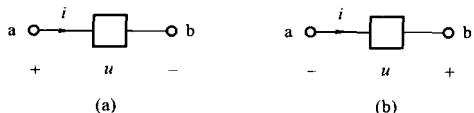


图 1-8 电压与电流的参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

元件,将电流参考方向与电压参考方向假设为一致时,称为关联参考方向。如果采用关联参考方向后,只标出一个参考方向即可。若采用非关联参考方向,则必须全部标出。电压与电流的参考方向如图 1-8 所示。

(3) 电位。河水之所以能够流动,是因为有水位差,电荷之所以能够流动,是因为有电位差,电位差也就是电压。

1) 电位的概念。在电路中任选一点 o 作为参考点,电路中某一点 a 到参考点的电压称为 a 点的电位,用 V_a 表示。即

$$V_a = U_{ao} \quad (1-7)$$

电位实际上就是电压,其单位也是伏特 (V)。

2) 电位的意义。电路参考点本身的电位为 0,即 $V_o = 0$,故参考点也称零电位点。

电路中 a、b 点两点间的电压等于 a、b 两点的电位差。即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-8)$$

电路中的参考点是可以任意选择的,但一经选定,电路中其他各点的电位也就确定了。参考点选择的不同,电路中同一点的电位也不同,但任意两点的电位差(即电压)是不变的。

一个电路系统中只能选一个参考点。一般在电子电路中选择多个元件的汇集处为参考点。他们通常与机壳相连。因此在电子电路中参考点常用接机壳符号“⊥”表示。在电工技术中,往往以大地作为零电位点。

(4) 电动势。电动势是衡量电源力即非静电力做功能力的物理量。电源力克服电场力把单位正电荷从电源的负极搬运到正极所做的功,称为电源电动势,用 e 表示,其单位也是伏特 (V)。即

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-9)$$

电动势的实际方向与电压实际方向相反,规定为由负极指向正极,即电位升。如图 1-9 所示。电动势与电压的关系为

$$E = -U_s \quad (1-10)$$

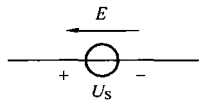


图 1-9 电动势与电压的方向

(5) 电功率和电能。

1) 电功率。电功率是衡量元件消耗或提供电能快慢的物理量。电场力在单位时间内所做的功称为电功率,简称功率。即

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-11)$$

在直流的情况下,电功率为

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-12)$$

在国际单位制 (SI) 中, 功率的单位为瓦特 (W), 小功率可用毫瓦 (mW), 大功率用兆瓦 (MW)、千瓦 (kW), 它们之间的关系为 $1\text{MW}=10^3\text{kW}$, $1\text{kW}=10^3\text{W}=10^6\text{mW}$ 。

功率与电流、电压的关系: 关联参考方向时, $p=ui$; 非关联参考方向时, $p=-ui$ 。

$p>0$ 时吸收功率, $p<0$ 时发出功率。

根据能量守恒定理, 一个电路中, 一部分元件或电路发出的功率一定等于其他部分元件或电路吸收的功率。整个电路的功率是平衡的, 由式 (1-11) 可得

$$d\omega = p dt \quad (1-13)$$

2) 电能。电能是功率对时间的积分, $t_0 \sim t_1$ 的时间内电路消耗的电能应为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-14)$$

直流时, p 为常数, 电路消耗的电能应为

$$W = P(t_1 - t_0) = UI t \quad (1-15)$$

功率的单位为瓦特 (W), 时间的单位为秒 (s), 电能的单位为焦耳 (J)。实用中还常采用千瓦小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 俗称“度”。 $1\text{kW} \cdot \text{h} = 1 \text{度电} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

四、综合实训 (色环电阻的识别及电压、电位、电流的测量实训)

(一) 能力训练目标

- (1) 认识电阻的形状结构及特点。
- (2) 知道电阻的分类和命名方法。
- (3) 能够熟练读出电阻的阻值、判断电阻的质量。
- (4) 能够按电路原理图连接成实际电路。
- (5) 能够熟练使用各种电工仪器。
- (6) 通过能力训练, 加深对电压、电流参考方向的理解。
- (7) 通过能力训练, 提高测量多支路电压、电流的能力。

(二) 仪器、设备、元器件及材料

- (1) 双路直流稳压电源。
- (2) 电阻 510Ω 、 $1\text{k}\Omega$ 、 330Ω 。
- (3) 电压表、电流表、万用表。
- (4) 通用电工实训台。

(三) 能力训练原理与说明

电荷的定向移动形成电流, 单位时间内通过导体横截面的电量称为电流大小, 即 $i = dq/dt$ 。

电流的实际方向是正电荷的运动方向。在预先无法判断电流的实际方向的情况下, 可任意假设电流参考方向, 如果求出的电流值为正, 说明参考方向与实际方向一致, 否则说明参考方向与实际方向相反。

电路中 a、b 点两点间的电压即为单位正电荷由 a 点移至 b 点电场力所做的功, 即 $u = d\omega/dq$ 。

电路中 a、b 点两点间的电压等于 a、b 两点的电位差, 即 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

电路中某点的电位定义为单位正电荷由该点移至参考点电场力所做的功。

电压的实际方向规定由电位高处指向电位低处，与电流方向的处理方法类似，可任选一方向为电压的参考方向，最后求得的 u 为正值，说明电压的实际方向与参考方向一致，否则说明两者相反。

(四) 能力训练内容及步骤

(1) 认识电阻、读出电阻的阻值、判断电阻的质量。

1) 从元器件盒子中挑出 3 个电阻，根据色环颜色写出标称阻值，将结果填入表 1-6 中。

2) 用万用表 $R \times 100$ 挡分别测量 3 个电阻，并将测量结果填入表 1-6 中。

表 1-6 电阻标称阻值和测量值

序 号	1	2	3
标称阻值			
$R \times 100$ 测量值			

(2) 电压、电位、电流的测量。

1) 按实训原理图 1-10 连接电路。

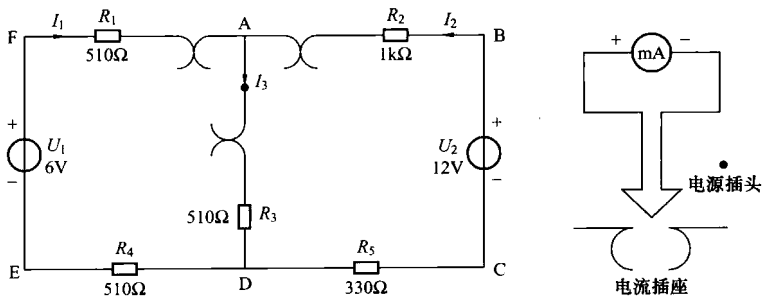


图 1-10 电压、电位及电流的测量

2) 调 U_1 至 6V， U_2 至 12V。

3) 当选定 A 点作为电位的参考点时，分别测量 B、C、D、E、F 各点的电位值及相邻两点之间的电压值 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} ，记录测量数据于表 1-7 中。

4) 以 D 点作为参考点，重复项目内容 3) 的测量，记录测量数据于表 1-7 中。

表 1-7 各点的电位及两点之间的电压值数据表

电位参考点	电位及电压	V_A	V_B	V_C	V_D	V_E	V_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
A	计算值												
	测量值												
	相对误差												
D	计算值												
	测量值												
	相对误差												

5) 测量各支路电流，记录测量数据于表 1-8 中。

五、任务实施

(一) 测试前的准备工作

- (1) 元件的筛选与检查。
- (2) 电路的接线检查。
- (3) 仪器的检查。

(二) 检测工作

- (1) 仪器调零。
- (2) 色环电阻的识别。
- (3) 电压、电流的测量。
- (4) 电位的测量。

(三) 仪器使用注意事项

(1) 电压表、电流表的正确连接；测量过程中电压表、电流表的指针反偏，要及时调换表笔。

- (2) 实际电压源不允许短路。
- (3) 读数的准确性及可靠性。

六、任务考评

评分标准见表 1-9。

表 1-8 电 流 测 量

I_1	I_2	I_3

表 1-9

评 分 标 准

序号	考核内容	考 核 项 目	配 分	检 测 标 准	得 分
1	电路的基本物理量及相关知识	(1) 电压、电位、电动势、电流、电功率的基本概念； (2) 电压、电位、电动势、电流方向的规定，参考方向的意义	20 分	(1) 能叙述电压、电位、电动势、电流、电功率的基本概念 (10 分)； (2) 能说明电压、电位、电动势、参考方向的意义 (10 分)	
2	电阻的识别	(1) 色环电阻的识别； (2) 电位器的检测方法	30 分	(1) 读出色环电阻值 (10 分)； (2) 电位器的检测方法 (20 分)	
3	电压与电位、电流的测量	(1) 检测前的准备工作； (2) 检测步骤与方法； (3) 操作使用的注意事项	50 分	(1) 会检查仪器的性能 (10 分)； (2) 会操作仪器测量电压与电位、电流 (30 分)； (3) 能说明操作使用的注意事项 (10 分)	
合 计			100 分		



实训思考题

1. 电路测量操作时的注意事项？
2. 测量误差产生的原因？



习 题

1. 电流、电压和电动势的实际方向是怎样规定的？实际方向和参考方向的关系如何？
2. 电路中两点之间的电压等于两点间的电位差，这两点间的电压数值随参考点的不同