

Electrician

主 编 高士忠 周艳丽

副主编 连红运 陈伯俊 张先富

电工技术



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电 工 技 术

主 编 高士忠 周艳丽

副主编 连红运 陈伯俊 张先富

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分为三篇：理论篇、实验篇和试题篇。理论篇包括直流电、正弦交流电路、电磁电器、常用低压电器、继电器—接触器控制系统、安全用电等内容，其中每一章都给出了习题；实验篇共包括万用表的使用、直流电路：验证叠加原理及戴维南定理等六个必备的实验技能项目；试题篇主要介绍近年来报考中级电工所必备的部分试题。

本书是在总结我国近年来高职高专教育教学改革期经验的基础上编写的。特点是结合实际工作、就业需要、岗位知识和技能，以培训技能型实用人才为目标。教学内容易于理解，突出针对性和应用性。

本书适用于两年制或三年制高职高专院校学生，也可作为从事相关行业的工程人员的参考资料。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电工技术 / 高士忠，周艳丽主编. —北京：电子工业出版社，2010.7

ISBN 978-7-121-11144-0

I. ①电… II. ①高… ②周… III. ①电工技术IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 113759 号

策划编辑：祁玉芹

责任编辑：鄂卫华

印 刷：北京市天竺颖华印刷厂

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：12.5 字数：304 千字

印 次：2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价：22.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前言

F O R E W O R D

随着现代电工技术的飞速发展，以及中等职业教育改革的不断深入，而教材作为体现教学内容、教学方法、教学手段的载体之一，传统的学科体系式教材已经越来越不能适应中等职业教育的培养目标。也应按教学改革精神进行相应的改革，以体现职业教育的特点，突出以能力培养为中心的培养目标。

本书是根据教育部最新制定的高职高专教育电路基础课程教学基本要求编写的，由在教学一线工作多年的优秀老师编写，在结构、内容安排等方面，吸收了编者多年来在电路学习研究及教学过程中取得的经验，力求全面体现高等职业教育的特点，满足当前教学的需要。

为适应当今社会对高职毕业生知识面宽、适应性强的复合型人才的要求，本书特别注意删去老化的知识，尽量多介绍电工有关新知识和新技术，使学生能学到新颖的、实用的知识。在内容选择上，重视基本概念、基本定律、基本分析方法的介绍，重点介绍其运用，淡化复杂的理论分析。本书分为三篇：理论篇、实验篇和试题篇。理论篇包括直流电、正弦交流电路、电磁电器、常用低压电器、继电器—接触器控制系统、安全用电等内容，其中每一章都给出了习题，实验篇共包括万用表的使用、直流电路：验证叠加原理及戴维南定理等六个必备的实验技能项目。试题篇主要介绍近年来报考中级电工所必备的部分试题。

本书内容层次清晰、循序渐进，力求使学生对基本理论能系统、深入地理解，进而

能尝试运用，为今后的学习奠定基础，同时注重分析问题、解决问题能力的培养。适用于两年制或三年制高职高专院校学生，也可作为从事相关行业的工程人员。

本书由高士忠、周艳丽主编，连红运、陈伯俊、张先富任副主编，参加编写的人员还有冯春丽、张海霞、张伟敏、王爱花、谢海良、董会锦、陈俊华、何立军。

由于作者水平有限，加之编写时间仓促，不足之处在所难免，望广大读者提出宝贵意见，以便进一步修订，不断提高教材编写水平，满足读者需要。

编 者

2010 年 5 月

目 录

理 论 篇

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路及其主要物理量	1
1.1.1 电路的组成和作用	1
1.1.2 电路元件	2
1.1.3 电路的主要物理量及电流、电压的参考方向	3
1.1.4 电路的三种工作状态	7
1.2 电路的基本定律	9
1.2.1 欧姆定律	9
1.2.2 焦耳—楞次定律	15
1.2.3 电源	15
1.3 基尔霍夫定律	19
1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	20
1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	20
1.4 支路电流法	22
1.5 叠加原理	23
1.6 戴维南定理	26
本章小结	29
练习题	31
第 2 章 正弦交流电路	35
2.1 正弦交流电的基本概念	35
2.1.1 正弦量的三要素	35
2.1.2 正弦量的有效值	37
2.1.3 正弦量的相量图表示法	38
2.2 单一参数正弦交流电路	38
2.2.1 电阻交流电路	38
2.2.2 电感交流电路	40
2.2.3 电容交流电路	42
2.3 R-L 串联电路	44

2.3.1	电压和电流的关系	45
2.3.2	功率	46
2.4	感性负载与电容并联电路	47
2.4.1	功率因数的改善	47
2.4.2	感性负载与电容并联电路	47
2.5	三相正弦交流电路	48
2.5.1	三相电源的连接	48
2.5.2	三相负载的连接	50
2.5.3	三相电路的功率	53
2.6	安全用电	53
2.6.1	安全用电常识	53
2.6.2	防触电的安全技术	54
2.6.3	安全用电的注意事项	55
	本章小结	56
	练习题	57

第3章 电磁电器、电磁设备 59

3.1	磁路	59
3.1.1	磁路的基本物理量	59
3.1.2	磁路的基本定律	60
3.1.3	磁性材料及其性能	62
3.2	交流铁芯线圈电路	63
3.2.1	线圈感应电动势与磁通的关系	63
3.2.2	交流铁芯线圈的功率损耗	64
3.3	变压器	66
3.3.1	变压器的基本结构	66
3.3.2	变压器的工作原理	67
3.3.3	变压器的几种技术参数	70
3.3.4	变压器的外特性	70
3.4	直流电动机	71
3.4.1	直流电动机的结构	71
3.4.2	直流电动机的工作原理	73
3.5	三相异步电动机	75
3.5.1	三相异步电动机的结构	76
3.5.2	三相异步电动机的工作原理	77
3.5.3	三相异步电动机的电磁矩和机械特性	79
3.5.4	三相异步电动机的铭牌和技术参数	81
3.6	单相异步电动机	84
3.6.1	单相异步电机的工作原理	84

3.6.2 单相异步电动机的启动方法·····	85
3.6.3 单相异步电动机的使用和维护·····	86
本章小结·····	86
练习题·····	87
第4章 常用的低压电器·····	89
4.1 概述·····	89
4.1.1 低压电器的分类·····	89
4.1.2 低压电器的主要技术数据·····	89
4.1.3 选择低压电器的注意事项·····	90
4.1.4 低压电器的型号表示法·····	90
4.2 低压配电电器·····	91
4.2.1 开关电器·····	91
4.2.2 熔断器·····	93
4.3 主令电器·····	94
4.3.1 按钮·····	95
4.3.2 行程开关·····	95
4.3.3 转换开关·····	96
4.3.4 接近开关·····	97
4.4 交流接触器·····	97
4.4.1 结构·····	98
4.4.2 工作原理·····	99
4.4.3 常用接触器·····	99
4.5 继电器·····	100
4.5.1 电磁式继电器·····	100
4.5.2 时间继电器·····	101
4.5.3 热继电器·····	103
4.6 低压电器故障及维修·····	104
4.6.1 触头的故障及维修·····	105
4.6.2 电磁系统故障及维修·····	106
本章小结·····	108
练习题·····	108
第5章 继电器—接触器控制系统·····	109
5.1 控制系统电路图概述·····	109
5.1.1 图形符号和文字符号·····	109
5.1.2 电路图·····	110
5.1.3 电器元器件布置图·····	111

5.1.4	接线图	111
5.2	电动机直接启动控制电路	112
5.2.1	用刀开关控制的单向运转控制电路	112
5.2.2	用接触器点动控制电路	112
5.2.3	具有自锁的正转控制电路	113
5.3	电动机降压启动控制	114
5.3.1	Y- Δ 降压启动	114
5.3.2	定子绕组串接电阻的减压启动	115
5.3.3	自耦变压器降压启动	116
5.4	电动机正反转控制电路	116
5.4.1	无联锁的正、反转控制电路	117
5.4.2	按钮联锁的正反转控制电路	117
5.4.3	按钮、接触器双重联锁的正反转控制电路	118
5.5	电动机制动和调速控制电路	118
5.5.1	制动控制回路	118
5.5.2	调速回路	121
5.6	三相异步电动机的顺序、多地和位置控制	122
5.6.1	顺序控制	122
5.6.2	多地控制	124
5.6.3	位置控制	124
5.7	典型机械设备的控制电路	126
5.7.1	CA6140 普通车床电气控制	126
5.7.2	Z3040 摇臂钻床电气控制电路	128
5.7.3	电动机控制系统保护	131
	本章小结	132
	练习题	132

第6章 安全用电

6.1	触电的有关知识	133
6.1.1	单相触电	133
6.1.2	两相触电	133
6.1.3	跨步电压触电	134
6.2	触电保护措施	135
6.2.1	工作接地	135
6.2.2	保护接地	135
6.2.3	保护接零	136
6.3	静电放电及防护	137
6.3.1	静电放电	137
6.3.2	静电防护	137

6.4 防雷	138
6.4.1 雷电及其危害	138
6.4.2 直击雷的防护	138
6.4.3 雷电感应的防护	139
6.4.4 雷电侵入波的防护	139
6.5 电气火灾及预防	139
本章小结	140
练习题	140

实 验 篇

实训一 万用表的使用	141
一、实训目的	141
二、实训原理	141
三、实训内容	142
四、万用表的使用注意事项	144
五、分析思考	145
六、实训报告	145
实训二 直流电路——验证叠加原理及戴维南定理	146
一、实验目的	146
二、原理说明	146
三、实验设备	147
四、预习要求	147
五、注意事项	147
六、实验步骤	147
七、实验报告	148
实训三 单相交流电路——测量 RLC 三种电器元件中的任意两种的电压 电流间的关系，日光灯电路的装接	149
一、实训目的	149
二、实训原理	149
三、实训设备	150
四、实训内容及步骤	151
五、注意事项	151
六、分析思考	151
七、实训报告	151

实训四 三相交流电路、电源和负载的 Y 形和 Δ 形连接中线电压和相电压间的关系152

一、实验目的 152

二、原理说明 152

三、实验设备 152

四、实验内容 153

五、实验注意事项..... 154

六、预习思考题 154

七、实验报告 154

实训五 三相异步电动机的 Y-Δ 降压启动控制.....155

一、实训目的 155

二、实训原理 155

三、实训设备 155

四、实训内容及步骤..... 156

五、实验注意事项..... 156

六、分析思考 156

七、实训报告 156

实训六 三相异步电动机可逆运转控制电路的装接157

一、实训目的 157

二、实训原理 157

三、实训设备 157

四、实训内容及步骤..... 158

五、注意事项 158

六、分析思考 158

七、实训报告 158

试 题 篇

维修电工知识部分练习题159

模拟试卷（一）181

模拟试卷（二）183

模拟试卷（一）答案186

模拟试卷（二）答案188

理 论 篇

第 1 章 直流电路

直流电路是电工学中最重要基础。本章主要涉及电工学的理论基础，包括电路的组成及作用，电路的基本物理量，电路元件的电流、电压关系和电路的基本定律和定理。然后介绍电阻器、电压源和电流源等电路元器件的特性，同时阐明基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，最后介绍线性电路的叠加原理和戴维南定理。

1.1 电路及其主要物理量

1.1.1 电路的组成和作用

1. 电路的组成

电路是为了完成某种功能，将电气元件或设备按一定方式连接起来而形成的系统，通常用以构成电流的通路。从日常生活中使用的用电设备到工、农业生产中用到的各种生产机械的电气控制部分及计算机、各种测试仪表等，从广义上说，都是实际的电路。最简单的电路如图 1-1（a）所示的手电筒电路。

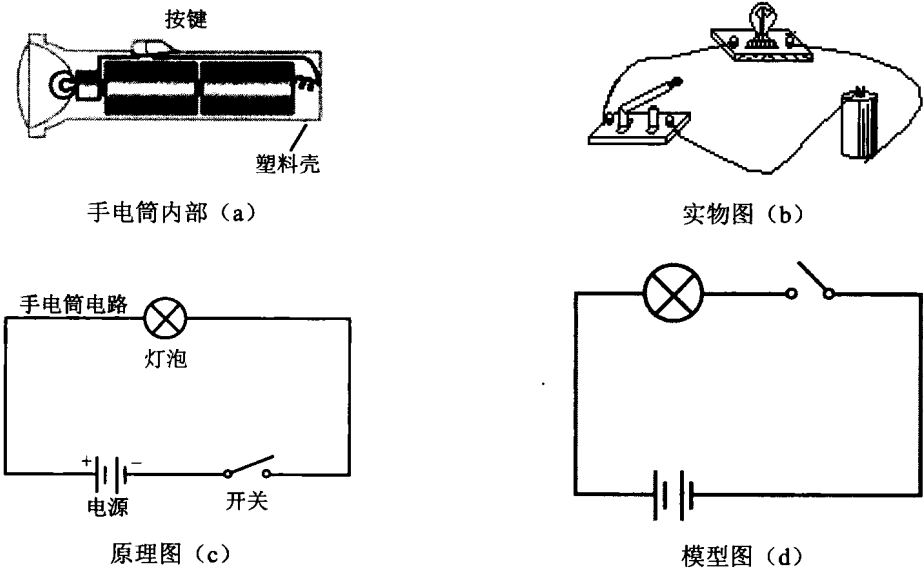


图 1-1 手电筒电路

从图 1-1 所示的手电筒电路可知，电路主要由电源（如干电池、蓄电池等）、负载（如白炽灯、电阻等）、中间环节（导线、开关等）三个部分组成。

（1） 电源

供给电路电能的设备，凡向电路提供能量或信号的设备称为电源。它将化学能、光能、机械能等非电能转换为电能，如干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等。

（2） 负载

指的是各种用电的设备，它将电能转换成其他形式的能量，如电灯、电炉、电烙铁、电动机等。

（3） 中间环节

指的是它把电源和负载连接起来的部分，起传输和分配电能或对电信号进行传递和处理的作用，如导线、开关等。

2. 电路的作用

电路的种类可以从很多种角度来划分，但从电路的功能来说，一般分为两种：一种是实现电能的传输和转换；另一种是进行信息的传递与处理。电路的作用不同，对其提出的技术要求也不同，前者较多地侧重于传输效率的提高，后者多侧重于信号在传递过程中的保真、运算的速度和抗干扰等。通常，前者所研究电路的电压、电流相对较高，称为强电；后者所研究电路的电压、电流则相对较低，称为弱电。此外，实际应用中的电路还可以按照其相数分为三相和单相，按照电流性质又分为直流电和交流电等。

3. 电路模型

为了定量地研究电路理论，一般会按照电路理论将实际的电路模型进行抽象，以理想的电路元件或者元件的组合来代替实际电路模型，这种抽象要求能够反映实际电路的本质特征，这一过程称为建模。对于实际电路来说，如果考虑到实际中各种电磁相互影响，则在建模过程会很复杂。一般在分析电路时，不必考虑电路元件内部的情况，只需要考虑各电路元件的对外特性，这样就可以把复杂的电路抽象为理想的电路模型。如电灯、电炉、电烙铁、电阻器等各种消耗电能的实际器件，都用“电阻”来表示，干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等各种提供电能的实际器件都用“电源”来表示。如图 1-1（d）便是手电筒电路的电路模型。

1.1.2 电路元件

用于构成电路的电工、电子元器件或设备统称为实际电路元件，简称实际元件。实际元件的物理性质从能量转换角度来看，有电能的产生、电能的消耗以及能量的转换和存储。在以后的章节中，理想电路元件被简称为电路元件。

实际的电路元件往往有一定的尺寸、大小，当电路元件的尺寸较小（主要指的是该元件的实际大小与其工作信号的波长相比小得多）时，则该元件被称为集总参数元件，简称集总元件。一般的，集总（参数）元件是指：在任何时刻，流入二端元件的一个端子的电流一定等于从另一端流出的电流，两个端子之间的电压为单值量。由集总元件构成的电路称为集总电路，或叫具有集总参数的电路。本书所讨论的电路元件均认为是集总元件。

用来表示不同物理性质的理想电路元件主要有恒压源 U_S 、恒流源 I_S 、电阻元件 R 、电

容元件 C 及电感元件 L 。表 1-1 是它们的电路模型图形符号。它们是电路结构的基本模型，由这些基本模型构成电路的整体模型。

表 1-1 常用电路元件符号

直流电源 E		电容 C		开关 S	
固定电阻 R		电压源 U_S		熔断器 S	
可变电阻 R_p		电流源 I_S		电压表	
电感 L		电灯 E_L		电流表	

1.1.3 电路的主要物理量及电流、电压的参考方向

如何分析图 1-1 所示电路的性能？通常应用电流、电压和功率这三个基本物理量。

1. 电流

(1) 电流

电荷的有规则运动形成电流。在导体中，带负电的自由电子在电场力的作用下，逆电场方向运动而形成电流。电流的方向规定为正电荷的运动方向，如图 1-2 所示。

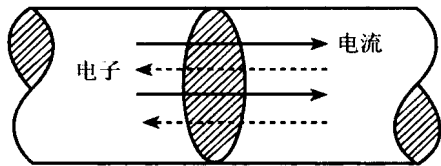


图 1-2 导体中的电子与电流

表征电流大小的物理量为电流。电流是指单位时间内通过导体横截面的电荷量。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，也称为直流电，用 I 表示。大小和方向随时间变化的电流称为交变电流，简称交流电，用 i 表示。直流电流定义为

$$I = \frac{q}{t}$$

(1.1.1)

式中 q 是时间 t 内通过导体横截面保持恒定的电荷量。电流的单位为 A（安[培]），还有 kA（千安）、mA（毫安）、 μ A（微安）等。倍数单位词头和部分国际单位制的单位如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 倍数单位词头

名 称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	皮
符 号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	p
倍 乘 数	10^9	10^6	10^3	10^2	10	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-12}

表 1-3 部分国际单位制的单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	电荷[量]	库[仑]	C
时间	秒	s	电位、电压	伏[特]	V
电流	安[培]	A	电容	法[拉]	F
频率	赫[兹]	Hz	电阻	欧[姆]	Ω
能量、功	焦[耳]	J	电导	西[门子]	S
功率	瓦[特]	W	电感	亨[利]	H

(2) 电流的参考方向

电流的实际方向在物理学中已做过明确的规定：电路中电流的流动方向是指正电荷移动的方向，但在分析电路时，电流的实际方向有时很难立即判定，有时电流的方向还在变化，因此在电路中很难标明电流的实际方向。可以借助“参考方向”来解决这一问题。所谓电流的参考方向，就是在电路中假定电流的方向来作为分析和计算电路的参考。如在图 1-3 (a) 中，假定电流参考方向由 a 指向 b，因电流的实际方向与参考方向一致，由 a 流向 b，则表示 $I > 0$ ；在图 1-3 (b) 中，电流参考方向由 a 指向 b，因电流的实际方向与参考方向相反，由 b 流向 a，则表示 $I < 0$ 。

参考方向也称正方向，除了用箭头标示外，还可以用双下标表示。如下图 (a) 中的电流可以写为 I_{ab} ，(b) 中的电流可以写为 I_{ba} 。

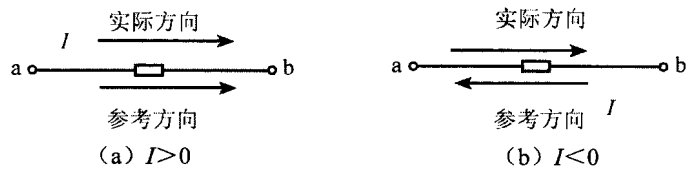


图 1-3 电流的参考方向

2. 电压

图 1-1 手电筒电路中，白炽灯的发光是因为白炽灯中有电流通过，其两端存在电压，即白炽灯两端的电位不同，而这正是由电源（干电池）所引起的。

(1) 电压

由电场知识可知，电场力能够移动电荷做功。在图 1-4 中，极板 a 带正电，极板 b 带负电，a、b 间存在电场。极板 a 上的正电荷在电场力的作用下从 a 经过白炽灯移到极板 b，从而形成了电流，使白炽灯发光，这说明电场力做功产生了电流。

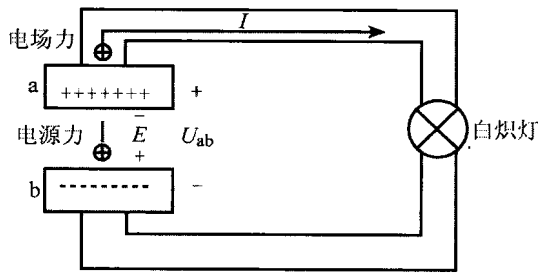


图 1-4 电源电压与电动势

用物理量电压来衡量电场力做功的能力，其定义为：单位正电荷 q 从 a 点移动到 b 点电场力所做的功为 W_{ab} ，则电压 U_{ab} 为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \tag{1.1.2}$$

电压单位为 V（伏[特]），还有 kV（千伏）、mV（毫伏）、 μ V（微伏）等。

(2) 电位

在图 1-4 中，当电场力移动正电荷从 a 经过白炽灯到 b 时，就将电能转换为光能，所以正电荷在 a 点具有比 b 点更大的能量。把单位正电荷在电路中某点所具有的能量称为该点的电位，用 V 表示，如 a 点的电位为 V_a ， b 点的点为 V_b 。由此可知电路中两点之间的电压就是该两点的电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \tag{1.1.3}$$

为便于分析，在电路中常任选一点为参考点，其参考电位为零，则电路中某点与参考点之间的电压就是该点的电位。电压方向规定为由高电位指向低电位，即电位降方向。在电路分析中，也常选取电压的参考方向，当电压的实际方向与参考方向一致时，电压为正，即 $U_{ab} > 0$ ；反之，电压为负，即 $U_{ab} < 0$ ，如图 1-5 (a)、(b) 所示。为方便应用与计算，常将某一元件上的电流参考方向和电压参考方向选取一致，即选取成关联参考方向，如图 1-5 (c) 所示。在分析电路时，尤其是分析电阻、电感、电容等元件的电流、电压关系时，经常采用关联参考方向。例如在应用欧姆定律时必须注意电流、电压的方向。

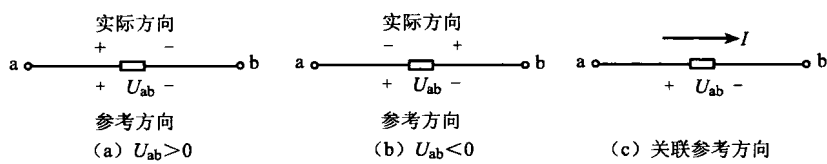


图 1-5 电压的参考方向与关联参考方向

在分析电路时，尤其是分析电阻、电感、电容等元件的电流、电压关系时，经常采用关联参考方向。例如在应用欧姆定律时必须注意电流、电压的方向。如图 1-6 (a) 中的电流、电压采用了关联参考方向，这时电阻器 R 两端的电压为： $U=RI$

若采用非关联参考方向（见图 1-6 (b)），则电阻器 R 两端的电压为： $U=-RI$

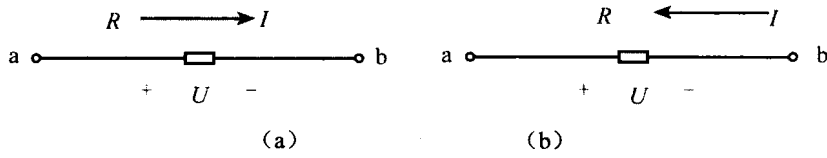


图 1-6 关联与非关联参考方向

(3) 电动势

在图 1-4 中，为维持电路中的电流流通而使白炽灯不断发光，则必须保持电路 a 、 b 两端间的电压 U_{ab} 恒定不变，这就需要电源力（非电场力）源源不断地把正电荷由负极 b 移向正极 a 。维持 U_{ab} 不变的这一装置称为电源。电源力克服电场力移动正电荷从负极到正极所做的功，用物理量电动势来衡量。电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从负极 b 经

电源内部移到正极 a 所做的功，用 E 表示，即

$$E = \frac{W_{ba}}{q} \tag{1.1.4}$$

电动势的方向有负极指向正极，即电位升方向，其电位也是 V 。

例 1.1.1 电路如图 1-7 所示，电源电压 $U_{S1}=10\text{ V}$ ， $U_{S2}=5\text{ V}$ ，电阻电压 $U_1=3\text{ V}$ ， $U_2=2\text{ V}$ 。分别取 c 点和 d 点为参考点，求各点电位及电压 U_{ab} 、 U_{bc} ，和 U_{da} 。

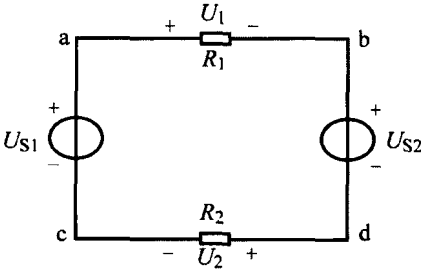


图 1-7 电路电压和电位的计算

解：① 当选取 c 点为参考点，则 $V_c=0\text{ V}$ 。

$V_a=U_{S1}=+10\text{ V}$ ， $V_b=-U_1+U_{S1}=+7\text{ V}$ ， $V_d=U_2=+2\text{ V}$ ； $U_{ab}=U_1=V_a-V_b=3\text{ V}$ ， $U_{bc}=U_{S2}+U_2=V_b-V_c=7\text{ V}$ ， $U_{da}=U_2-U_{S1}=V_d-V_a=-8\text{ V}$ 。

② 当选取 d 点为参考点，则 $V_d=0\text{ V}$ 。

$V_a=U_{S1}-U_2=+8\text{ V}$ ， $V_b=U_{S2}=+5\text{ V}$ ， $V_c=-U_2=-2\text{ V}$ ；

$U_{ab}=U_1=V_a-V_b=3\text{ V}$ ， $U_{bc}=U_{S2}+U_2=V_b-V_c=7\text{ V}$ ， $U_{da}=U_2-U_{S1}=V_d-V_a=-8\text{ V}$

由本题可知，电路中某点的电位等于该点到参考点之间的电压，电压的大小与参考点的选择有关；电路中某两点间的电压等于该两点的电位之差，电压的大小与参考点的选择无关。

例 1.1.2 电路如图 1-8 所示，试求电压 U_{mn} 以及电位 V_a 、 V_b 、 V_c 和 V_d 。

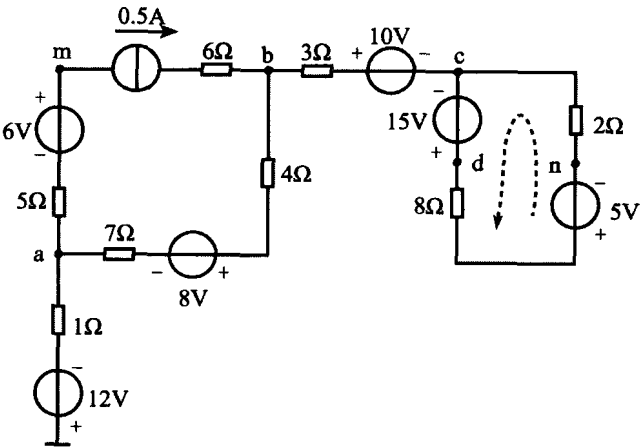


图 1-8

分析：电路中任意两点间电压的求解分三步，即找有向路径，求路径上的分电压，将