

高等职业教育电子信息类贯通制教材

· 电子技术专业

电工基础

• 王新新 包中婷 刘春华 编 著
• 张红兵 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书配有电子教学参考资料包及例题程序源代码

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

高等职业教育电子信息类贯通制教材（电子技术专业）

电 工 基 础

王新新 包中婷 刘春华 编著
张红兵 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书内容包括：电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路的分析计算、电路的过渡过程、正弦稳态交流电路、三相交流电路、信号与系统概述、变压器、电动机等8章。本书从电路的基本概念入手，讲述了电路组成、电路基本定律及简单电路的一般分析方法，介绍了变压器、电动机等常用电工设备的作用、结构和工作原理。本书在内容安排上，突出基本概念和基本定律，省略复杂的公式推导，简化烦琐的电路分析，并结合一定的实用电路，力求做到循序渐进、深入浅出、简明易懂，具有较强的实用性。书中每章后面有小结和习题，供教师和学生选用，以便于教学和自学。

本书可作为高等职业院校电子及相关专业的教材，也可作为职业培训教材，并可以作为大中专院校有关专业师生的教学参考书。

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

电工基础/王新新，包中婷，刘春华编著. —北京：电子工业出版社，2004.3
高等职业教育电子信息类贯通制教材·电子技术专业
ISBN 7-5053-9374-X

I.电… II.①王… ②包… ③刘… III.电工学—高等学校：技术学校—教材 IV.TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 126576 号

责任编辑：刘文杰 特约编辑：王银彪

印 刷：北京季蜂印刷有限公司

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

经 销：各地新华书店

开 本：787×1 092 1/16 印张：11.5 字数：295 千字

印 次：2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数：6 000 册 定价：15.50 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。
联系电话：（010）68279077。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。

前言



本教材是按照高职电子与信息类教材编委会的编审规划出版的,供电子类专业及相关专业教学使用。

本教材在编写中,打破了原有的学科分类体系,对传统电子类专业的电路基础和非电子类专业的电工技术课程进行了适当整合,本着“够用、实用”的原则,降低了理论深度,精选了教材内容。

全书共分为:电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路的分析计算、电路的过渡过程、正弦稳态交流电路、三相交流电路、信号与系统概述、变压器、电动机等8章。本书从电路的基本概念入手,讲述了电路组成、电路基本定律及简单电路的一般分析方法,介绍了变压器、电动机等常用电工设备的作用、结构、工作原理。在内容安排上,本书突出基本概念和基本定律,省略复杂的公式推导,简化烦琐的电路分析,结合一定的实用电路,力求做到循序渐进、深入浅出、简明易懂,提高了教材的实用性。书中每章后面有小结和习题,供教师和学生选用,便于教学和自学。

参加本书编写的有:王新新(第1,2,6章)、包中婷(4,5,8章)、刘春华(第3,7章)。本书由王新新统编,重庆电子科技职业学院张红兵老师担任主审。山东省电子工业学校李新平老师对本书的编写工作提供了许多有益的建议和帮助。

本书得到了各编者及审稿所在单位领导的大力支持和帮助,在此谨向他们表示由衷的感谢。

本书还配有教学指南、电子教案及习题答案(电子版),请有此需要的教师与电子工业出版社联系,我们将免费提供。E-mail:ve@phei.com.cn

由于编者水平有限,书中的错误和疏漏在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2003年6月





第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.1.3 电路的工作状态	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压和电位	5
1.2.3 电能	8
1.2.4 电功率	8
1.3 电阻元件及欧姆定律	9
1.3.1 电阻元件	9
1.3.2 欧姆定律	10
1.3.3 电阻元件消耗的能量与功率	11
1.4 电压源和电流源	12
1.4.1 电压源	12
1.4.2 电流源	14
1.5 基尔霍夫定律	16
1.5.1 关于电路结构的几个名词	16
1.5.2 基尔霍夫电流定律	17
1.5.3 基尔霍夫电压定律	17
本章小结	19
习题 1	20
第 2 章 直流电阻电路的分析计算	25
2.1 电阻电路的连接形式	25
2.1.1 电阻的串联	25
2.1.2 电阻的并联	26
2.1.3 电阻的混联	28
2.1.4 电阻的星形、三角形连接及其等效变换	29
2.2 支路电流法	31

2.3	叠加定理	32
2.4	电压源模型和电流源模型的等效变换	34
2.5	戴维南定理	36
2.6	负载获得最大功率的条件	38
2.7	电位的计算	40
2.7.1	电位的计算方法	40
2.7.2	电子线路的习惯画法	41
2.8	受控源	42
	本章小结	44
	习题 2	46
第 3 章	电路的过渡过程	53
3.1	电路产生过渡过程的原因	53
3.2	RC 电路的过渡过程	54
3.2.1	电容元件	54
3.2.2	电容的充电过程	60
3.2.3	电容的放电过程	62
3.3	RL 电路的过渡过程	63
3.3.1	电感元件	63
3.3.2	直流电源接入 RL 电路	66
3.3.3	RL 电路的短接过程	67
3.4	一阶电路的三要素法	68
3.5	应用电路	70
3.5.1	万用表粗测电容	71
3.5.2	微分电路和积分电路	72
	本章小结	73
	习题 3	75
第 4 章	正弦稳态交流电路	77
4.1	正弦交流电的产生	77
4.2	正弦交流电的三要素	78
4.2.1	瞬时值和最大值	78
4.2.2	周期、频率和角频率	78
4.2.3	相位和初相位	79
4.3	正弦交流电的有效值和平均值	81
4.3.1	正弦交流电的有效值	81
4.3.2	正弦交流电的平均值	81
4.4	复数概述	82
4.4.1	复数的基本表示方法	83
4.4.2	复数的运算法则	83
4.5	正弦交流电的相量表示法	84

4.6	正弦交流电路中的基本元件	85
4.6.1	正弦交流电路中的电阻元件	85
4.6.2	正弦交流电路中的电感元件	87
4.6.3	正弦交流电路中的电容元件	90
4.7	正弦交流电路的分析	93
4.7.1	相量形式的基尔霍夫定律	93
4.7.2	RLC 串联电路	93
4.7.3	多阻抗并联电路	98
4.8	谐振电路	99
4.8.1	串联谐振电路	100
4.8.2	并联谐振电路	103
4.9	日光灯电路	106
4.9.1	日光灯电路的组成	106
4.9.2	日光灯电路的工作原理	107
	本章小结	108
	习题 4	111
第 5 章	三相交流电路	115
5.1	三相正弦交流电的产生	115
5.2	三相交流电路的连接方式	116
5.2.1	对称三相交流电源的连接方式	116
5.2.2	三相交流负载的连接方式	119
5.3	三相交流电路的功率	124
5.4	应用电路	125
	本章小结	127
	习题 5	128
第 6 章	信号与系统概述	129
6.1	信号的基本知识	129
6.1.1	消息、信息和信号	129
6.1.2	信号的分类	129
6.2	非正弦周期信号	130
6.2.1	非正弦周期信号的分解	130
6.2.2	线性非正弦周期电路的计算	134
6.3	无线电信号的传输	136
6.3.1	调制	137
6.3.2	解调	138
6.4	系统与网络简介	138
6.4.1	系统	138
6.4.2	网络	139
	本章小结	140

习题 6	141
第 7 章 变压器	143
7.1 变压器的结构	143
7.1.1 铁心	143
7.1.2 线圈骨架	144
7.1.3 绕组	144
7.2 变压器的工作原理	144
7.2.1 互感现象	144
7.2.2 互感电压	145
7.2.3 同名端	145
7.2.4 变压器的工作原理	147
7.2.5 理想变压器	147
7.3 变压器的应用	149
7.3.1 电源变压器	149
7.3.2 变压器在信号电路中的应用	151
7.4 变压器铭牌及使用注意事项	154
7.4.1 变压器铭牌	154
7.4.2 变压器使用注意事项	156
本章小结	157
习题 7	158
第 8 章 电动机	159
8.1 三相交流异步电动机	159
8.1.1 三相交流异步电动机的基本结构	159
8.1.2 三相交流异步电动机的工作原理	161
8.1.3 三相交流异步电动机的选用	164
8.2 单相异步电动机	165
8.2.1 单相异步电动机的结构及工作原理	166
8.2.2 常用单相异步电动机	166
8.3 控制电机	168
8.3.1 伺服电动机	168
8.3.2 步进电动机	170
本章小结	172
习题 8	173
参考文献	174

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章介绍电路组成和电路模型，讲述电流、电压、电能、电功率等电路基本物理量；讨论欧姆定律、基尔霍夫定律等电路基本定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路组成

在人们的日常生活和生产实践中，广泛使用着各种各样的电路，如照明电路、信号放大及处理电路等。概括地讲，电路是为了实现某些预期的目的，将电器设备和元器件按照一定方式连接起来的总体；复杂的电路也称为网络。如图 1.1 所示的照明电路中，干电池是提供电能的设备或器件，称为电源；电灯泡是利用电能的设备或器件，称为负载。信号处理电路中，提供电信号的设备或器件称为信号源；接受电信号的设备或元器件称为负载。如图 1.2 所示的音频信号放大电路中，拾音器（话筒）可看做信号源，放大器 1、放大器 2、放大器 3、扬声器组成它的负载；对于放大器 1 而言，拾音器是它的信号源，而放大器 2、放大器 3、扬声器组成它的负载；关于该电路其他部分信号源、负载的定义依次类推。

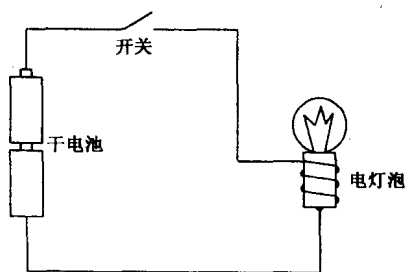


图 1.1 照明电路

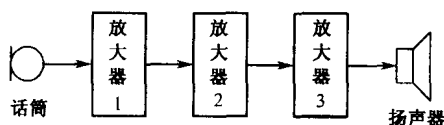


图 1.2 音频信号放大电路

不管是简单还是复杂的电路，都可以将它分为三部分：一是提供电能或电信号的部分，称为电源或信号源；二是接受电能或电信号的部分，称为负载；三是控制及连接部分如导线、开关等，称为中间环节。简单的中间环节可以是两根连接导线，复杂的中间环节可以是庞大的控制系统。

电路的基本作用有两个：一是实现电能的传输和转换，如电厂的发电机发出电能，通过升压变压器、输电线、配电所等送到用电单位，用电设备再把电能转换为其他形式的能量，整个过程组成了一个供电系统；二是传递和处理信号，如图 1.2 所示的音频信号放大电路，



拾音器将声音转换为电信号，经放大后送到扬声器，扬声器再将电信号还原为声音。

1.1.2 电路模型

组成电路的每一实际元件所表现出的电磁性质往往是多样的。例如，一个实际的线绕电阻器有电流通过时，除了对电流呈现阻碍作用并消耗电能外，还在它周围产生磁场，储存磁场能，在各匝线圈间产生电场，储存电场能。这3种电磁现象同时存在于线绕电阻器上，使得电路分析非常复杂。为分析方便，我们对实际电路元件按照它们在电路中表现出来的电磁性质进行分类，用足以表征其主要电磁特性的理想化模型——理想元件或理想元件的组合来表示。图1.3是3种基本理想元件的图形符号，图中电阻元件、电感元件、电容元件分别为只表示消耗电能、储存磁场能和储存电场能的理想元件。

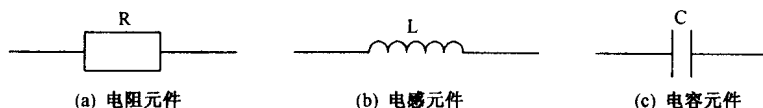


图 1.3 3种基本理想元件的图形符号

理想元件具有以下两个特点：第一，它所反映的电磁特性可以用数学方法精确地描述；第二，实际设备或元件中所发生的电磁现象都可以由理想元件或它们的组合表示出来。如电阻器、白炽灯、电熨斗的主要特性是将电能转化为热能，它们可以用电阻元件这一理想元件来表示；在一定条件下，可以用电容元件来表示各种实际的电容器；同样，在一定条件下可以用电感元件来表示各种实际电感线圈。



注意

在不同的条件下，同一个实际元件所表现出的电磁特性并不完全相同，因此，在不同的条件下，实际元件的理想化模型可以不同。

引入理想元件概念后，实际电路中的元件都可以用能够反映其主要电磁特性的理想元件来替代，这种由若干理想元件组成的电路称为电路模型。由理想元件图形符号表示的电路模型，称为电路图。本书所进行的电路分析、计算都是针对电路模型而言的。在电路模型中，连接各元件的导线都认为是理想导体，其电阻忽略不计。

1.1.3 电路的工作状态

电路一般有3种工作状态，即有载状态、短路状态、开路状态，如图1.4所示。

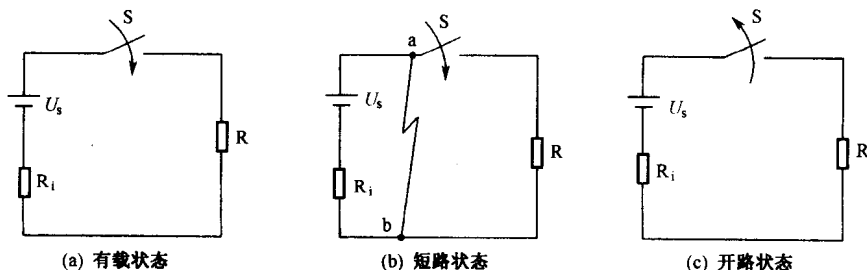


图 1.4 电路的三种工作状态



1. 有载状态

图 1.4 (a) 中, 当开关 S 闭合后, 电源与负载构成闭合回路, 电源处于有载工作状态, 电路中有电流流过。

2. 短路状态

图 1.4 (b) 中, 当 a 点、b 点间用导线相连时, 称电阻 R 被短路。a 点、b 点间导线称为短路线, 短路线中的电流叫短路电流。

短路可分为有用短路和故障短路, 故障短路往往会造成电路中电流过大, 使电路无法正常工作, 严重的会产生事故。

3. 开路状态

图 1.4 (c) 中, 开关 S 断开或电路中某处断开, 切断的电路中没有电流流过, 此时的电路称为开路。开路又叫断路, 断开的两点间的电压称为开路电压。

开路也分为正常开路和故障开路。如不需要电路工作时, 把电源开关打开为正常开路; 而灯丝烧断, 导线断裂产生的开路为故障开路, 它使电路不能正常工作。

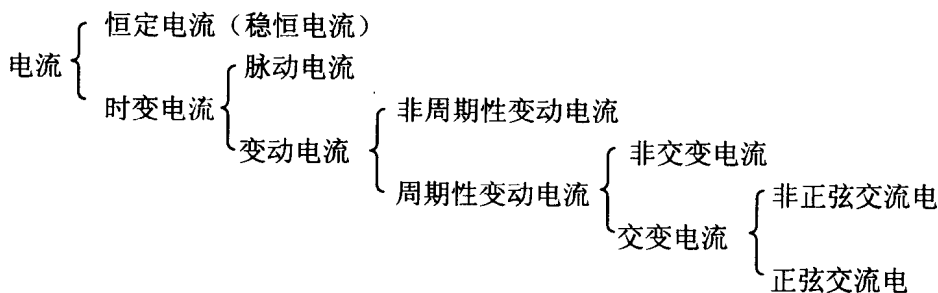
1.2 电路的基本物理量

在电路理论中, 常用的基本物理量有电流、电压、电能、电功率等, 它们是电路分析和计算的基础。

1.2.1 电流

电路在工作或运行的时候, 基本物理现象之一是电路中存在电流。电流是由电荷定向移动形成的。不同的导电材料中, 能够自由运动的电荷不同; 在金属导体中, 自由电子在外电场作用下定向移动, 形成电流; 在电解液和气态导体中, 正离子和负离子在外电场作用下定向移动, 形成电流。由此可以看出, 产生电流必须具备两个条件: 第一, 导体内有能够做定向移动的自由电荷; 第二, 有能够使自由电荷做定向移动的电场。习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流的方向。

根据电流的大小和方向随时间变化情况, 电流可分为:



恒定电流——大小和方向都不随时间变化的电流, 简称直流。简写做“DC”, 用“ I ”表示。恒定电流波形如图 1.5 (a) 所示。

时变电流——大小和方向或两者之一随时间变化的电流称为时变电流, 用“ i ”表示。



脉动电流——方向不变，但大小随时间变化的电流，称为脉动电流。脉动电流波形如图 1.5 (b) 所示。

变动电流——大小和方向均随时间变化的电流，称为变动电流。变动电流波形如图 1.5 (c) 所示。

脉动电流和变动电流都是时变电流。

周期性变动电流——每隔一段时间，总是重复前面的变化的变动电流，称为周期性变动电流。周期性变动电流波形如图 1.5 (d) 所示。

交变电流——在一个周期内，电流平均值为零的周期性变动电流称为交变电流，简称交流，简写做“AC”。交变电流波形如图 1.5 (e) 所示。

正弦交流电流——按正弦规律变化的交变电流，称为正弦交流电流。今后本书如未做特别说明，所提及的交流电均指正弦交流电。正弦交流电流波形如图 1.5 (f) 所示。

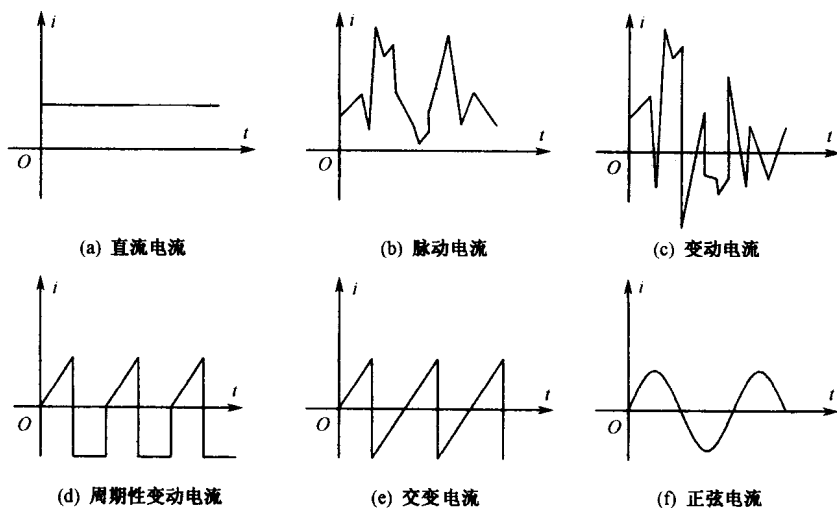


图 1.5 电流的分类

电流的大小用电流强度来表示。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度也简称电流。若在 Δt 时间内，通过导体横截面的电荷量为 Δq ，则该导体在 Δt 时间段内的平均电流强度 i 可写为

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

由于直流电在任一瞬间通过导体横截面的电荷量是恒定不变的，其电流强度 I 又可表示为

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

交流电在不同时间段内通过导体横截面的电荷量不同，仍用式 (1-1) 描述交流电的大小就不够准确。为此，可以将 Δt 取为无穷小，则

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

式中， i ——交流电流的瞬时值；



dt ——无穷小时间段;

dq ——在无穷小时间段内, 通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制中, 电流的单位是安培 (A)。当电流是 1 安培时, 表示每秒钟有 1 库仑的电荷流过导体的横截面。电流的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA)。它们之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$$

在自然界中, 人们为了说明物体的运动方向, 定义了“东、西、南、北”作为参照物, 如“向南走”“向西转弯”等。同样, 在电路中为了说明电流的方向, 也需要一个参照物, 即电流的参考方向。在一段电路或一个电路元件中事先选定一个方向, 这个选定的电流方向就叫做电流的参考方向。电流参考方向可以任意选定, 但参考方向一经选定, 在电路分析和计算过程中, 不能随意更改; 当然所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向, 参看图 1.6 所示。本书中电流的参考方向用实线箭头或双下标表示, 如 i_{AB} , 其参考方向是由 A 点指向 B 点。电流的实际方向用虚线箭头表示。



图 1.6 电流的参考方向

习惯上规定, 电流的实际方向与任意选定的电流参考方向一致时, 电流值为正值, 即 $i > 0$; 电流的实际方向与任意选定的电流参考方向相反时, 电流值为负值, 即 $i < 0$ 。这样, 就可以在选定的电流参考方向下, 根据电流的正负值来确定出某一时刻电流的实际方向。

【例 1.1】如图 1.7 所示电路中, 电流参考方向已选定。已知 $I_1 = 3\text{A}$, $I_2 = -5\text{A}$, $I_3 = -2\text{A}$, 试指出电流的实际方向。

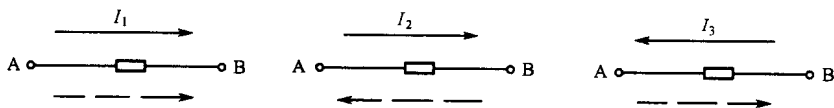


图 1.7 【例 1.1】图

解: $I_1 > 0$, I_1 的实际方向与参考方向相同, 电流 I_1 由 A 流向 B, 大小为 3A。

$I_2 < 0$, I_2 的实际方向与参考方向相反, 电流 I_1 由 B 流向 A, 大小为 5A。

$I_3 < 0$, I_3 的实际方向与参考方向相反, 电流 I_3 由 A 流向 B, 大小为 2A。

1.2.2 电压和电位

1. 电压

电路中, 电荷在电场力作用下移动形成电流, 电场力推动电荷做功, 将电能转化为其他

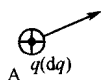


图 1.8 电场力做功

形式的能。为了衡量电场力对电荷的做功能力,引入电压这一物理量。电路中任意 A 点、B 点间的电压,在数值上等于电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。直流电压用符号 U 表示,交流电压用符号 u 表示。

如图 1.8 所示,若电场力将电荷 q (dq) 从 A 点移动到 B 点,所做的功为 W (dW),则 A 点、B 点间的直流电压表示为

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

交流电压表示为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

在国际单位制中,电流的单位是伏特 (V)。当电场力将 1 库仑 (C) 的电荷量从一点移动到另一点所做的功为 1 焦耳 (J) 时,则该两点间的电压为 1 伏特 (V)。电压的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV),它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

电压的实际方向定义为正电荷在电场中受电场力作用(电场力做正功时)移动的方向。与电流一样,电压也有自己的参考方向,电压的参考方向用实线箭头或双下标表示。当电压的实际方向与任意选定的电压参考方向一致时,电压值为正值,即 $u > 0$; 当电压的实际方向与任意选定的电压参考方向相反时,电压值为负值,即 $u < 0$,如图 1.9 所示。



图 1.9 电压的参考方向

2. 电位

在电路中任选一点为参考点,则某点到参考点的电压就叫做这一点(相对于参考点)的电位。参考点在电路图中用符号 “ $\perp$ ” 表示,如图 1.10 所示。

电位用符号 φ 表示,如 A 点电位记做 φ_A 。当选择 O 点为参考点时,则

$$\varphi_A = U_{AO} \quad (1-6)$$

如果 A 点、B 点的电位分别为 φ_A 与 φ_B , 则

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1-7)$$

所以,两点间的电压就是该两点电位之差,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点,有时也将电压称为电压降。

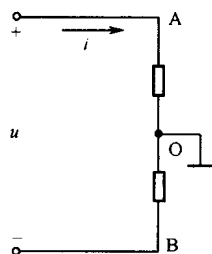


图 1.10 电位示意图



电压的参考方向除用实线箭头或双下标表示外,还可以用“参考极性”的标注方法来表示,即在电路或元件两端标以“+”“-”符号,“+”号表示假设的高电位端,“-”号表示假设的低电位端,由“+”号指向“-”号的方向就是选定的电压参考方向,如图 1.10 所示。



注意

电路中各点的电位值与参考点的选择有关,当所选的参考点变动时,各点的电位值将随之变动,因此,参考点一经选定,在电路分析和计算过程中,不能随意更改;在电路中不指定参考点而谈论各点的电位值是没有意义的。习惯上认为参考点自身的电位为零,即 $\varphi_0=0$,所以参考点也叫零电位点。

在电子线路中一般选择元件的汇集处,而且常常是电源的一个极作为参考点。在工程技术中则选择大地、机壳等作为参考点。

【例 1.2】 图 1.11 所示电路中,已知 $U_1=-5\text{V}$, $U_{ab}=2\text{V}$,试求:(1) U_{ac} ;(2)分别以 a 点和 c 点作参考点时,b 点的电位和 bc 两点之间的电压 U_{bc} 。

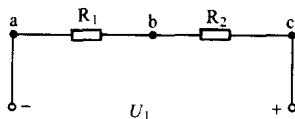


图 1.11 【例 1.2】图

解: (1) $U_{ac} = -U_1 = -(-5) = 5 (\text{V})$

(2) 以 a 点为参考点,则 $\varphi_a = 0$,因为 $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$,所以

$$\varphi_b = \varphi_a - U_{ab} = 0 - 2 = -2 (\text{V})$$

$$\varphi_c = \varphi_a - U_{ac} = 0 - 5 = -5 (\text{V})$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = -2 - (-5) = 3 (\text{V})$$

若以 c 点为参考点,则 $\varphi_c = 0$,因为 $U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c$,所以

$$\varphi_a = \varphi_c + U_{ac} = 0 + 5 = 5 (\text{V})$$

$$\varphi_b = \varphi_a - U_{ab} = 5 - 2 = 3 (\text{V})$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 3 - 0 = 3 (\text{V})$$

由以上计算可以看出,当以 a 点为参考点时, $\varphi_b = -2\text{V}$;当以 c 点为参考点时, $\varphi_b = 3\text{V}$;但 b 点、c 点之间的电压 U_{bc} 始终是 3V 。这说明电路中各点的电位值与参考点的选择有关,而任意两点间的电压与参考点的选择无关。

3. 关联参考方向

电流和电压的参考方向彼此可以无关的选定,但为了方便起见,往往将一段电路或一个元件上的电流和电压参考方向选成一致,电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1.12 (a) 所示。如果采用关联参考方向,在电路图中只需标注出电流参考方向或电压参考方向中的任何一种,另一种不言自明,如图 1.12 (b) 与 (c) 所示。本书中若未特别说明,均采用关联参考方向。

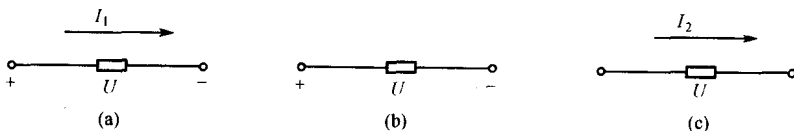


图 1.12 关联参考方向



1.2.3 电能

电荷在电场力作用下定向移动形成电流，电场力推动电荷做功，将电能转化为其他形式的能。电能转化为其他形式能的过程，就是电场力做功的过程，因此消耗多少电能，可以用电场力所做的功来度量。

对于直流电，由式 (1-4) 和式 (1-2) 可得

$$W = UI t \quad (1-8)$$

式中， W ——电路所消耗的电能，单位为焦耳 (J)；

U ——电路两端的电压，单位为伏特 (V)；

I ——通过电路的电流，单位为安培 (A)；

t ——所用的时间，单位为秒 (s)。

对于交流电，由式 (1-5) 和式 (1-3) 可得

$$dW = u i dt \quad (1-9)$$

在实际应用中，电能的另一个常用单位是千瓦时 ($1\text{kW} \cdot \text{h}$)，1 千瓦时就是常说的 1 度电。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 (\text{J})$$

1.2.4 电功率

电功率是衡量电能转化为其他形式能量速度快慢的物理量，它定义为电能对时间的变化率，用符号 P 表示。

对于直流电，有

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-10)$$

式中， P, U, I, t 的单位分别为瓦特 (W)、伏特 (V)、安培 (A)、秒 (s)，若电场力在 1s 内所做的功为 1J，则电功率就是 1W。常用的电功率单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等，它们之间的换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3 \text{W}$$

$$1\text{W} = 10^3 \text{mW}$$

对于交流电，有

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{u i dt}{dt} = ui \quad (1-11)$$

式中， p ——交流电的瞬时功率，单位为瓦特 (W)；

u ——电路两端交流电压的瞬时值，单位为伏特 (V)；

i ——通过电路的交流电流瞬时值，单位为安培 (A)。



注意

在电压和电流为关联参考方向情况下，电路的功率可由式 (1-10) 和式 (1-11) 求得；在电压和电流为非关联参考方向情况下，电路的功率可由式 (1-12) 和式 (1-13) 求得。

$$P = -UI \quad (1-12)$$

$$p = -ui \quad (1-13)$$

这样，若计算得出 $P > 0$ ($p > 0$)，表示该部分电路吸收或消耗功率，若计算得出 $P < 0$ ($p < 0$)，



表示该部分电路发出或提供功率。

【例 1.3】 一空调器正常工作时的功率为 1214W ，设其每天工作 4 小时，若每月按 30 天计算，试问一个月该空调器耗电多少度？若每度电费 0.80 元，那么使用该空调器一个月应缴电费多少元？

解： 空调器正常工作时的功率为

$$1214\text{W}=1.214\text{kW}$$

一个月该空调器耗电

$$W = Pt = 1.214\text{kW} \times 4\text{h} \times 30 = 145.68\text{kW} \cdot \text{h}$$

使用该空调器一个月应缴电费

$$145.68 \times 0.80 \approx 116.54 \text{ (元)}$$

【例 1.4】 试求图 1.13 中元件的功率，并说明是吸收功率还是发出功率。

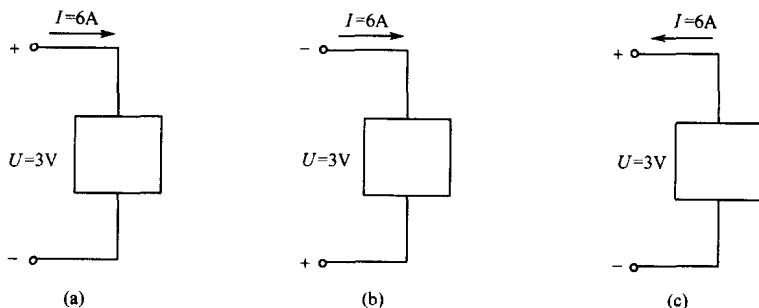


图 1.13 【例 1.4】图

解： 图 1.13 (a) 图中，电压与电流为关联参考方向， $P = UI = 3 \times 6 = 18(\text{W})$ ， $P > 0$ ，该元件吸收功率；

图 1.13 (b) 图中，电压与电流为非关联参考方向， $P = -UI = -3 \times 6 = -18(\text{W})$ ， $P < 0$ ，该元件发出功率；

图 1.13 (c) 图中，电压与电流为非关联参考方向， $P = -UI = -(-3) \times 6 = 18(\text{W})$ ， $P > 0$ ，该元件吸收功率；

1.3 电阻元件及欧姆定律

1.3.1 电阻元件

1. 电阻

电荷在导体中运动时，会受到分子和原子的碰撞与摩擦，碰撞和摩擦表现为导体对电流的阻碍作用，这种阻碍作用最明显的特征是导体消耗电能而发热（或发光）。物体对电流的这种阻碍作用，称为该物体的电阻，用符号 R 表示。

在国际单位制中，电阻的单位是欧姆 (Ω)，在实际使用时，还会用到千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等较大的单位，它们之间的换算关系是

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