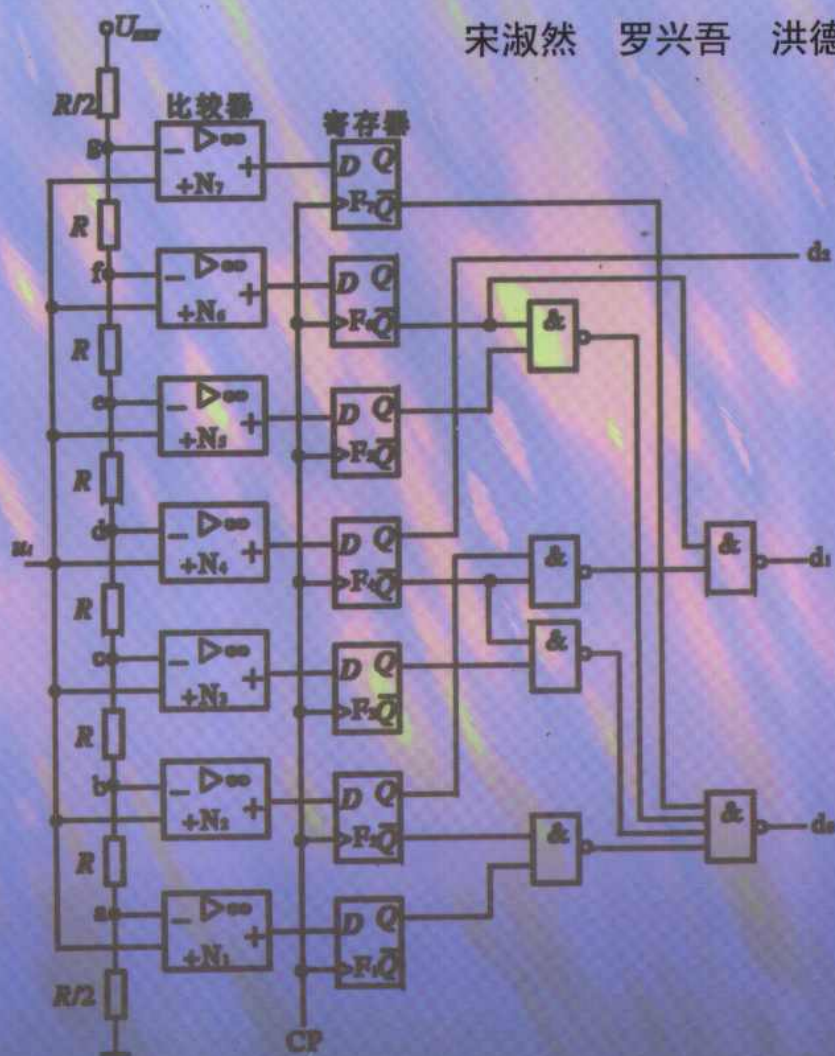


电工电子 技术基础

宋淑然 罗兴吾 洪德梅 编



广东高等教育出版社

电工电子技术基础

宋淑然 罗兴吾 洪德梅 编



A1022780

广东高等教育出版社

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术基础/宋淑然, 罗兴吾, 洪德梅编. —广州: 广东高等教育出版社, 2000.3

ISBN 7-5361-2450-3

I. 电… II. ①宋… ②罗… ③洪… III. ①电工技术-基础理论 ②电子技术-基础理论 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 14174 号

广东高等教育出版社出版发行

社址: 广州市天河区林和西横路

邮政编码: 510075 电话: 87553782 83792953

东莞市粤高印刷厂印刷

787mm×1 092mm 16 开本 18.375 印张 410 千字

2000 年 3 月第 1 版 2002 年 9 月第 2 次印刷

印数: 5001~10000 册

定价: 28.00 元

内 容 提 要

本书是根据高等专科学校电工与电子技术课教学的基本要求，面向机电类自学考试者而编写的，也可作为大专院校学生的参考教材。

全书分电工技术基础（上篇）、电子技术基础（下篇）两大部分，共十二章，分别阐述和介绍了直流电路及分析方法、单相正弦交流电路、三相电路、电路的时域分析、半导体元器件、基本放大电路、运算放大电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、直流稳压电源、正弦波振荡电路、模数 - 数模转换电路等的基础理论、基本知识和基本技能。书中还附有《课程大纲》，便于读者整体把握课程内容。

前 言

“电工电子技术”是机电类专业的专业基础课。通过本课程的学习，使学生获得电工、电子学必要的基础理论、基本知识和基本技能，了解电工事业的发展概况，为学习后续课程和专业知识以及从事工程技术工作打下理论基础和实践基础。

本书根据高等专科学校电工与电子技术课教学的基本要求，本着培养技术应用型人才的特点而编写。因此，书中的理论以必要和够用为限度，尽量减少理论证明，以掌握基本概念、基本原理，运用理论、培养能力为重点。

本教材力求深入浅出，易于自学。在编排上尽量符合学生的认知规律，便于学生阅读。此外，考虑到电工电子技术的不断发展，编入了部分拓广和加深的内容，以供部分学生进行深入和广泛的学习。

本书的编写分工：宋淑然，第7~12章；罗兴吾，第1、2、5、6章；洪德梅，第3、4章。

由于编者能力所限，加之时间仓促，书中有些内容难免不够妥善，甚至会有错误之处。希望读者特别是使用本书的教师和同学提出批评和改进意见，以便今后修订提高。

编 者

2000年1月

目 录

上篇 电工技术基础

第一章 直流电路及其分析方法	(1)
学习指导	(1)
1-1 电路的作用及基本组成	(2)
1-2 电路的基本物理量	(3)
1-3 基尔霍夫定律	(10)
1-4 电路的工作状态	(13)
1-5 电路的基本分析方法	(15)
本章小结	(32)
第二章 单相正弦交流电路	(33)
学习指导	(33)
2-1 正弦交流电的基本物理量	(34)
2-2 正弦量的相量表示方法	(39)
2-3 单一参数的交流电路	(45)
2-4 RLC 串联交流电路	(53)
2-5 交流电路的频率特性与谐振现象	(58)
2-6 功率因数的提高	(66)
本章小结	(70)
第三章 三相交流电路	(72)
学习指导	(72)

3-1 三相交流电源	(73)
3-2 三相负载	(76)
3-3 三相电路的功率	(84)
本章小结	(88)
第四章 电路的暂态分析	(89)
学习指导	(89)
4-1 换路定则和储能电路中电流、电压初始值的确定	(89)
4-2 RC 串联电路的充电过程	(92)
4-3 RC 串联电路的放电过程	(96)
4-4 一阶电路的三要素法	(98)
4-5 微分电路和积分电路	(101)
4-6 RL 串联电路的过渡状态	(103)
本章小结	(106)

下篇 电子技术基础

第五章 二极管及其应用	(107)
学习指导	(107)
5-1 半导体的导电特性	(107)
5-2 半导体二极管	(112)
5-3 半导体稳压管	(116)
本章小结	(118)
第六章 晶体三极管及基本放大电路	(119)
学习指导	(119)
6-1 半导体三极管	(120)
6-2 交流电压放大电路的组成和信号放大概述	(126)
6-3 交流电压放大电路的分析方法	(129)
6-4 分压式射极偏置放大电路	(134)

6-5 共集电极放大电路——射极输出器	(138)
*6-6 多级电压放大电路	(142)
*6-7 功率放大电路	(146)
本章小结	(158)
第七章 集成运算放大电路	(160)
学习指导	(160)
7-1 集成运算放大器简介	(160)
7-2 集成运算放大器的基本输入方式	(165)
7-3 放大电路中的反馈	(169)
7-4 集成运放用于信号运算的电路	(176)
*7-5 集成运放用于信号处理的电路	(178)
*7-6 使用集成运算放大器应注意的问题	(182)
本章小结	(186)
第八章 门电路及组合逻辑电路	(187)
学习指导	(187)
8-1 数字电路概述	(187)
8-2 晶体管的开关作用	(189)
8-3 基本门电路	(191)
8-4 逻辑代数及逻辑函数化简	(197)
8-5 组合逻辑门电路的分析与设计	(200)
*8-6 编码器	(202)
*8-7 译码器和数字显示	(206)
本章小结	(209)
第九章 时序逻辑电路	(211)
学习指导	(211)
9-1 双稳态触发器	(211)
*9-2 触发器逻辑功能的转换	(218)
*9-3 寄存器	(219)

9-4 计数器	(224)
本章小结	(232)
* 第十章 数模 (D/A) 及模数 (A/D) 转换	(233)
学习指导	(233)
10-1 数模转换器 (DAC)	(233)
10-2 模数转换器 (ADC)	(238)
本章小结	(246)
第十一章 直流稳压电源	(247)
学习指导	(247)
11-1 单相桥式整流电路	(248)
11-2 滤波电路	(251)
11-3 硅稳压二极管稳压电路	(256)
* 11-4 集成稳压电源	(259)
本章小结	(263)
* 第十二章 振荡电路	(265)
学习指导	(265)
12-1 正弦波振荡的基础知识	(265)
12-2 RC 正弦波振荡电路	(267)
12-3 LC 正弦波振荡电路	(270)
12-4 555 定时器	(272)
12-5 555 构成多谐振荡器	(274)
本章小结	(275)
课程大纲	(277)
附录一 半导体器件型号命名方法	(279)
附录二 常用半导体器件的参数	(280)
参考文献	(284)

上篇 电工技术基础

第一章 直流电路及其分析方法

本章主要讨论电路的基本概念、基本定律和分析计算电路的基本方法。它不仅适应于直流电路，也适应于交流电路，是这门课程的理论基础部分，也是学习后续课程的基础。

学习指导

一、基本要求

- ①了解电路的基本作用与基本组成；
- ②理解电路中的基本物理量如电流、电压、电动势的参考方向和电位意义，并能掌握分析计算简单直流电路中各点电位的方法；
- ③理解电路的基本定律：欧姆定律和基尔霍夫定律，并能正确应用；
- ④了解电路的有载、空载和短路三种状态，理解额定值的意义；
- ⑤掌握用支路电流法、节点电压法、叠加原理和戴维南定理分析和计算电路；
- ⑥理解实际电源的两种模型及其等效互换。

二、重点及难点

- ①基尔霍夫定律的含义及其应用；
- ②分析和计算电路时，对具体的电路采取合适的方法；
- ③采用戴维南定理分析和计算电路。

1-1 电路的作用及基本组成

一、电路的作用

电流的路径叫做电路。电路是由一些电气设备和元件（例如，发电机、电动机、电炉、电阻、电感和电容等）或电子器件（例如，晶体管和集成电路等）按一定方式联接而成的。电路的种类繁多，用途各异，但其基本作用可以概括为两大类，我们通过实例说明如下。

1. 电路能够实现电能的输送和转换

这方面的应用极为广泛，其作用可由图 1-1 (a) 所示的例子说明。电源发出电能，通过中间环节（导线、开关及其它设备）将电能送给电灯负载，用以照明，将电能转化为光能，实现了电能的输送和转换。

电源是电路的能源。电源有多种形式（例如，发电机、蓄电池和光电池等），它们可以把各种形式的能量（例如，机械能、化学能和光能等）转化为电能，供给负载。负载是用电设备（例如，电动机、电炉和电灯等），它们将电能转化成人们需要的其它形式的能量。

2. 电路能够实现信号的传递和转换

这方面的应用也相当广泛，其作用可由图 1-1 (b) 所示的例子说明。这是扩音机的工作示意图。话筒将声音（信息）转换为电信号（以下简称信号），经过中间环节（导线与放大器等），信号被放大，并传递到负载扬声器，还原原来的声音。这里，在声音的作用下，话筒源源不断地发出信号，因而叫做信号源。

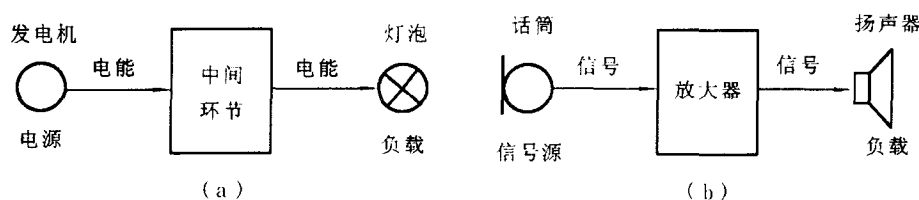


图 1-1 电路的作用

(a) 电能的输送和转换 (b) 信号的传递和转换

信号源也是一种电源，但它不同于发电机和蓄电池等产生电能的一般电源，其主要作用是产生电压信号和电流信号。

各种非电的信息和参量（例如，语言、音乐、图像、温度、压力、位移、速度与流量等）均可通过相应的变换装置转换为电信号进行传递和转换。电路的这一作用广泛应用于电子技术、测量技术、无线电技术和自动控制技术等许多领域。

二、电路的基本组成

无论电路的结构和作用如何,都可以看成是由实际的电源、负载和中间环节三个基本部分组成。但是实际电路元件的电磁性质比较复杂,难以用简单的数学关系表达它们的物理特性(例如,一只简单的白炽灯通过电流时,它除有电阻特性外,还会产生磁场,具有电感的性质)。为研究电路的一般规律,我们将实际的电路元件进行理想化,即在一定的工程条件下将其近似看成理想的电路元件。理想电路元件具有单一的电或磁的性质,可用简单的数学关系予以描述(例如,白炽灯在通常条件下,它的主要作用是消耗电能,呈现电阻特性,而产生的磁场很微弱,可以近似地看成纯电阻元件)。

最简单的电路如图1-2所示,由电源和负载组成,中间环节为联接导线。图中的电源和负载都是理想电路元件。若无特殊说明,电源是泛指,既可以是直流电源,也可以是交流电源;负载也是泛指的,既可以是用电设备,也可以是传递信号的某种装置。

联接导线的作用是把电源与负载联成通路,以达到输送电能和传递信号的目的。常用的导线有铜质和铝质导线两种,它们都有一定的电阻。一般情况下,联接导线较短,其电阻比负载电阻小得多,因而往往忽略不计,予以理想化。除特殊说明外,本书中讨论的电路均不计导线电阻。

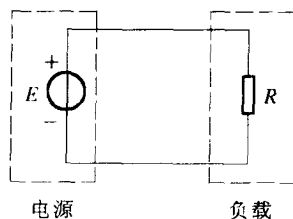


图1-2 最简单的电路

为了控制电路的通断,常在电路的某处装上开关。完善的电路还具有保护装置,例如,为了防止短路事故及烧毁电气设备,通常在电路中接入熔断器(保险丝)或自动断路器。

1-2 电路的基本物理量

在电工技术中,实验和理论分析是解决电路问题的两种方法。理论分析方法是对具体电路先画出电路模型,然后作定性或定量分析计算。在进行这种分析研究时,就必须用到象电流、电压、电动势和功率等基本物理量。再根据基本电磁关系,对这些基本物理量列写方程式,其中还涉及到有关电物理量的正方向问题。正方向在电路分析中是一个极为重要的概念,它贯穿于本教材的全部内容。

一、电流

1. 电流的大小

电流的大小是指单位时间内通过导线横截面的电荷量,表示为:

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

假如电流为恒定（大小和方向都不变）的，即式（1-1）的比值为常数，就称为直流电，式（1-1）可改写为：

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

2. 电流的单位

在我国法定计量单位中电流的单位是安培（A），简称安。较小的电流可采用毫安（mA）和微安（ μA ）等作单位。

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

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

3. 电流的方向

电荷的定向运动形成电流。习惯上规定正电荷运动的方向作为电流的实际方向。但在分析比较复杂的电路时，往往难以判断某支路电流的实际方向，而且有时电流的实际方向还随时间交变（如正弦交流电），更难于确定出方向。为了解决这一困难，我们引入正方向（参考方向）的概念。即在分析电路之前，完全不考虑实际方向，而是假设一个方向，这个假定的方向称为电流的正方向，或称为参考方向。

正方向可以任意选定，在电路图中用箭头或用双下标的变量表示，如图 1-3 所示。图 1-3（a）中，电流的正方向可写为 I_{ab} ，表示假设电流从 a 点流向 b 点。

我们规定：

如果已知电流的正方向与实际方向一致，则电流为正值；如果电流的正方向与实际方向相反，则电流为负值。这样就可利用电流的正负值并结合假设正方向来确定电流的实际方向。在图 1-4 中，电流的正方向为 a 指向 b 且为负值，即 $I_{ab} < 0$ ，则说明电流的实际方向与正方向相反，那么实际电流的流向为从 b 流向 a 。显然 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

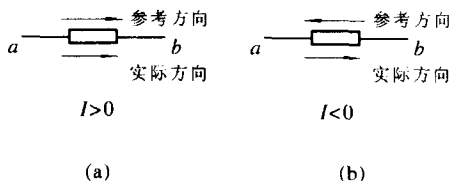


图 1-3 用箭头表示电流的正方向

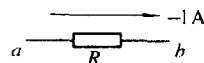


图 1-4 电流实际方向的确定

在这里将有关电流的正方向作一总结。

- ①在分析电路前，先假设一个正方向。
- ②正方向可以任意选择，但正方向一经选定，电流就成为一个代数量，即有正、负之分。
- ③在未设定正方向的情况下，电流的正负值是毫无意义的。
- ④今后电路中所标注的电流方向都是设定正方向，不一定是电流的实际方向

二、电压与电位

1. 电压

在图 1-5 中, 设正电荷 q 从 a 点移到 b 点时, 电场力所作的功为 W , 则 a, b 两点之间的电压为

$$U = \frac{W}{q}$$

可见, 电压从能量方面表示了电场力作功的能力, 它总是与电路中某两点相联系。 a, b 两点的电压, 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所作的功。在我国法定计量单位中, 电荷量的单位是库仑 (C), 功的单位是焦耳 (J), 电压的单位是伏特 (V), 简称伏, 还可采用微伏 (μV), 毫伏 (mV) 和千伏 (kV)。

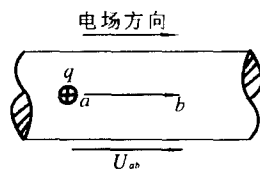


图 1-5 电压的概念

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

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

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

2. 电位

电场中或电路中的某一点到参考点之间的电压, 称作该点的电位, 它是表示电场或电路中某点性质的物理量。对电位这个概念而言, 参考点是很重要的, 因为参考点不同, 电路中同一点的电位值就不一样。参考点的选择是任意的, 但在一个电路中, 参考点只能选择一个。参考点的选用通常有两种方式: 在电工中以大地为参考点, 用符号“ $\perp$ ”表示; 在电子电路中, 常取若干导线的交汇点或机壳作为电位的参考点, 用符号“ $\perp$ ”表示, 人们规定参考点的电位为零, 从这个意义上参考点又称零电位点。

电路中任何一点的电位值是与参考点相比较而得出的, 比其高者为正, 比其低者则为负。电位与电压的单位相同, 也是伏特。

电位与电压在表达形式上虽有区别, 但从本质上来讲是相同的。电路中两点之间的电压就是这两点间的电位差值; 而电路中某点的电位, 则是该点到参考点之间的电压。电位从形式上似指一点, 实质上仍然是两点, 不过另一点是参考点而已。如图 1-6 中, 选取电源的负极 (C) 作为参考点, 那么 A, B 两点的电位对 C 点而言, 分别为 V_A 和 V_B , 而且 V_A 的电位高于 V_B 。 A, B 两点间的电压 U_{AB} 就是 V_A 与 V_B 之差, 即 $U_{AB} = V_A - V_B$, 所以电压又叫电位差。电位是一个相对量, 它与参考点的选取有关, 而电压是一个绝对量, 在电路中两点之间的电压是一定的, 它与参考点的选取无关。

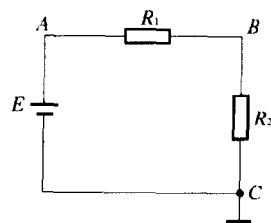


图 1-6 电压与电位比较

3. 电压的正方向

电压与电流一样, 也同样存在一个方向问题。习惯上规定由高电位端指向低电位

端，即电位降的方向为电压的实际方向。在分析和计算某一段电路时，电压的实际方向有时很难确定，因此同样可以任意选定该段电路电压的正方向。如图 1-7 所示的电路中，若选 A 点为高电位点，标以“+”号，则 B 点对于 A 点为低电位点，标以“-”号，也就是说，这段电路电压的正方向是从 A 点指向 B 点。当电压的正方向与实际方向一致时，为正值；反之则为负值。因此，当电压的正方向选定后，电压就成为代数量。

电压的正方向，有三种表示方式，如图 1-8 所示。图 1-8 (a) 用“+”、“-”标号分别表示假定的高电位端和低电位端；图 1-8 (b) 则用箭头的指向表示，箭头由高电位端指向低电位端；图 1-8 (c) 用双下标来表示，电压的正方向即从下角标的第一字母指向第二字母，如 U_{AB} ，即 A 点表示高电位点， B 点表示低电位点。

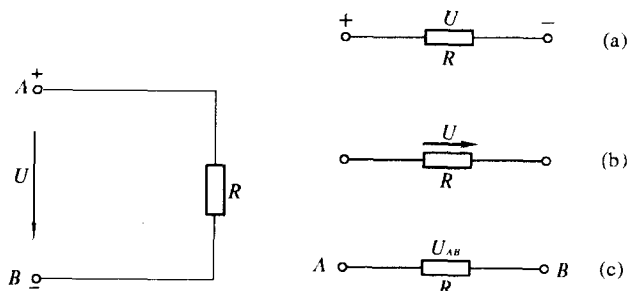


图 1-7 电压的方向

图 1-8 电压正方向的三种表示方式

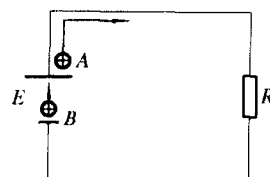


图 1-9 电动势的作用

以上三种表示方式其意义是相同的，可以互相代用。

4. 电动势

在图 1-9 中，从电源的外电路看，正电荷的移动是在电场力的作用下，从电源的高电位端 A （正极）经过负载 R ，移向电源的低电位端 B （负极），即按照电位降低的方向移动，这是电场力推动电荷做功的结果。为了保持正电荷连续不断地作定向移动，使电路中的电流维持恒定，就必须依靠其它非电场力（如化学力、机械力）把正电荷从电源的低电位端 B （负极），经过电源内部，移到电源的高电位端 A （正极），这是非电场力做功，以使得电源两端的电压保持定值。电动势这个物理量就是用来衡量电源内部非电场力（称电源力）对正电荷做功的能力的。在电源力作用下，电源将其它形式的能量转换为电能，所以电动势是表示电源性质的物理量。

在数值上电动势等于电源力把单位正电荷从负极经电源内部移动到正极时所做的功。据此，电动势的单位也是伏特 (V)。

电动势的实际方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即电位升高的方向，所以

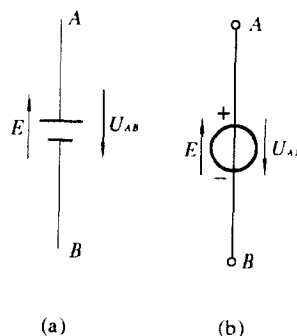


图 1-10 电动势的实际方向

电动势与电压的实际方向相反，如图 1-10 所示，直流电源的正、负极分别用“+”、“-”表示。

5. 关联正方向

电压、电流的正方向在标定时都具有任意性，从两者之间的关系来说，应该是彼此独立的，没有其它限制。但为了处理问题方便，在同一段电路中，尽可能使电流的正方向与电压的正方向取为一致，称为关联正方向。如图 1-11 所示，在图中电流的正方向与电压从“+”极到“-”极的方向一致，即电流与电压降正方向一致。如若电压与电流的正方向不一致，则称非关联正方向，如图 1-12 所示。

关联正方向是一个很重要的概念，因为在电路理论中许多公式的导出均与关联正方向有关，下面结合读者熟悉的欧姆定律作一说明：

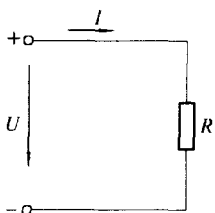


图 1-11 关联正方向

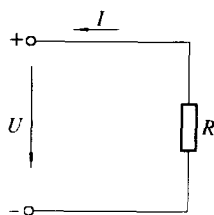


图 1-12 非关联正方向

在关联正方向条件下，欧姆定律的表示式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-3)$$

若为非关联正方向，欧姆定律的表示式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -IR$$

负号表示当电压的正方向与实际方向一致时，图 1-12 所示的电流正方向与电流的实际方向相反。

欧姆定律只适用于线性电阻电路，一般不适用于非线性电阻电路，因为非线性电阻元件的阻值是随电压、电流变化的。

从上面讨论可知，欧姆定律的每一种表示形式是对应于一定的正方向的，有关电路的其它定律的表示式也是如此。因此，对于每一个公式，除了正确理解它的意义、使用条件外，还必须记住关联正方向的要求，决不能生搬硬套。

例 1-1 求图 1-13 中所示电流的电流 I 。

解：在图 1-13 (a) 中， U 、 I 为非关联正方向 $I = -\frac{U}{R} = -\frac{-12}{8} \text{A} = 1.5 \text{A}$

注意公式的正负号与电物理量本身的正负号不要相混淆。

在图 1-13 (b) 中， U 、 I 为非关联正方向 $I = -\frac{U}{R} = -\frac{12}{8} \text{A} = -1.5 \text{A}$

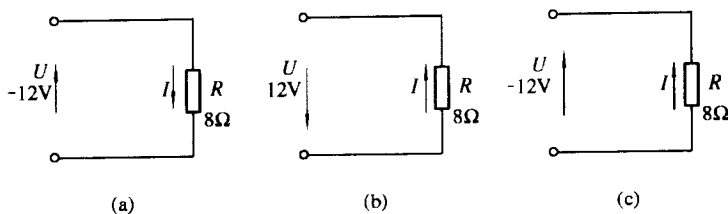


图 1-13 例 1-1 图

在图 1-13 (c) 中, U 、 I 为关联正方向 $I = \frac{U}{R} = \frac{-12}{8} \text{ A} = -1.5 \text{ A}$

例 1-2 求图 1-14 所示电路中 a 、 b 、 c 点的电位及电阻 R 。

解: 根据图示电路, 设 d 点为参考点。

$V_a = -9\text{V}$, 即 a 点的电位比 d 点电位低 9V ;

$V_b = V_a + E_2 = -9\text{V} + 3\text{V} = -6\text{V}$, 即 b 点电位比 d 点电位低 6V ;

$V_c = E_3 = 4\text{V}$, 即 c 点电位比 d 点的电位高 4V 。

$$U_{bc} = V_b - V_c = -6\text{V} - 4\text{V} = -10\text{V}$$

$$R = \frac{U_{bc}}{I} = \frac{-10}{-2} \Omega = 5\Omega$$

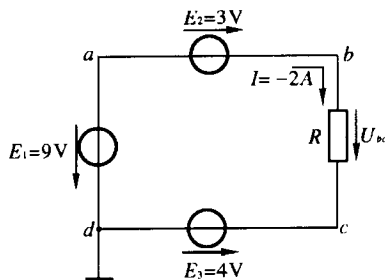


图 1-14 例 1-2 图

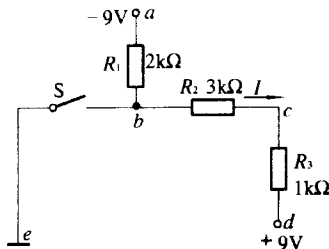
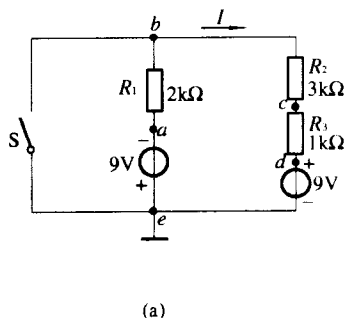


图 1-15 例 1-3 图

例 1-3 分别计算图 1-15 (a) 电路中开关 S 打开时和闭合时 b 点和 c 点的电位。

解: ①当开关 S 打开时

$$I = \frac{U_{ad}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_a - V_d}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{-9 - 9}{(2 + 3 + 1) \times 10^3} \text{ A} = -3 \times 10^{-3} \text{ A} = -3 \text{ mA}$$