



高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电工电子学

(上册)

主 编	张俊利	
副主编	刘沛津	任继红
参 编	王晓燕	张 宇 孙长飞



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电工电子学(上册)

主 编 张俊利

副主编 刘沛津 任继红

参 编 王晓燕 张 宇 孙长飞

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书分为上、下册。上册的内容包括直流电路、电路的暂态分析、正弦交流电路、供电与用电、变压器、三相异步电动机、电气自动控制、可编程控制器 PLC 及其应用、电工测量共 9 章。

本书可作为高等学校非电类专业的本科生教材,也可供电工电子学相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学. 上册/张俊利主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2015. 2

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3614 - 6

I. ①电… II. ①张… III. ①电工学—高等学校—教材 ②电子学—高等学校—教材

IV. ①TM1 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 032622 号

策 划 戚文艳

责任编辑 阎彬 曹锦

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 10

字 数 231 千字

印 数 1~4000 册

定 价 18.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3614 - 6/TM

XDUP 3906001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前言

本书是根据全国高等学校非电类专业电工电子学课程教学改革的实际情况，并总结了各位编者近年来在该专业教学的经验，面向三本非电专业编写的。本书的编写原则是“精少、实用、够用”。

“电工电子学(上)”课程授课参考学时为 32~48 学时，对于学时较多的学校能完成全部内容的教学；而学时少者，教师可根据情况对本书内容有所取舍，以应用为主进行教学。

本书由西安建筑科技大学张俊利任主编，负责全书策划与定稿，并且编写了第 1、2、7、9 章，任继红编写了第 3 章，张宇编写了第 4、8 章，王晓燕编写了第 5 章，孙长飞编写了第 6 章。另外，副主编刘沛津在本书的编写过程中也协助做了一些工作。

本书被列为西安建筑科技大学教材项目，并获得学校的大力支持与帮助，在此顺致谢意。

由于我们水平有限，书中疏漏在所难免，恳请读者不吝指正。

编者
2014 年 11 月

目 录

第 1 章 直流电路	1	2.1.1 电感元件	21
1.1 电路的基本物理量	1	2.1.2 电容元件	22
1.1.1 电流	1	2.2 暂态的基本概念及换路定则	23
1.1.2 电压、电动势和电位	2	2.2.1 暂态的基本概念	23
1.1.3 电功率	3	2.2.2 换路定则	23
1.1.4 电能	3	2.3 RC 电路的暂态响应	25
1.2 电路的状态	3	2.3.1 RC 电路的零输入响应	25
1.2.1 通路	3	2.3.2 RC 电路的零状态响应	27
1.2.2 开路	4	2.3.3 RC 电路的全响应	28
1.2.3 短路	4	2.4 RL 电路的暂态响应	28
1.3 欧姆定律	4	2.4.1 RL 电路的零输入响应	28
1.4 电阻的串、并联连接	6	2.4.2 RL 电路的零状态响应	30
1.4.1 电阻的串联连接	6	2.4.3 RL 电路的全响应	31
1.4.2 电阻的并联连接	6	2.5 一阶电路暂态响应分析的三要素法	31
1.5 理想电源	7	习题 2	33
1.5.1 理想电压源	7		
1.5.2 理想电流源	7	第 3 章 正弦交流电路	35
1.6 基尔霍夫定律	8	3.1 正弦交流电的基本概念	35
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	9	3.1.1 正弦量的三要素	35
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	10	3.1.2 正弦量的相量表示法	37
1.7 支路电流法	12	3.2 单一参数的正弦交流电路	41
1.8 叠加原理	12	3.2.1 电阻元件的正弦交流电路	41
1.9 等效电源定理	15	3.2.2 电感元件的正弦交流电路	42
1.9.1 戴维宁定理	15	3.2.3 电容元件的正弦交流电路	44
1.9.2 诺顿定理	16	3.3 RLC 串联交流电路	46
1.10 受控电源	17	3.3.1 电压与电流关系	47
1.11 非线性电阻	18	3.3.2 功率关系	48
习题 1	19	3.4 阻抗的串联与并联	49
		3.4.1 阻抗的串联	50
第 2 章 电路的暂态分析	21	3.4.2 阻抗的并联	50
2.1 电感元件与电容元件	21	3.5 功率因数的提高	51

3.5.1 提高功率因数的意义	52	5.4.1 电磁铁的结构	88
3.5.2 提高功率因数的方法	52	5.4.2 电磁铁的分类	88
3.6 电路的谐振	53	习题 5	89
3.6.1 串联谐振	54		
3.6.2 并联谐振	55		
习题 3	55		
第 4 章 供电与用电	57	第 6 章 三相异步电动机	90
4.1 三相电源	57	6.1 三相异步电动机的结构和工作原理	90
4.1.1 三相电源的星形连接	58	6.1.1 三相异步电动机的结构	90
4.1.2 三相电源的三角形连接	60	6.1.2 三相异步电动机的工作原理	92
4.2 三相负载	60	6.2 三相异步电动机的运行	96
4.2.1 三相负载的星形连接	61	6.2.1 机械特性曲线	98
4.2.2 三相负载的三角形连接	62	6.2.2 三个转矩的计算	98
4.2.3 负载连接方式	63	6.2.3 运行状态分析	100
4.3 三相功率	63	6.3 三相异步电动机的使用	100
4.4 触电事故及触电防护	65	6.3.1 铭牌和技术数据	101
4.4.1 触电事故	65	6.3.2 选择方法	103
4.4.2 触电方式	66	6.4 起动方法	105
4.4.3 触电防护措施	67	6.5 调速方法	108
4.5 用电安全	68	6.6 制动方法	111
4.5.1 静电防护	68	习题 6	112
4.5.2 电器防火和防爆	69		
习题 4	69	第 7 章 电气自动控制	114
第 5 章 变压器	72	7.1 常用控制电器	114
5.1 磁路及其分析	72	7.1.1 按钮	114
5.1.1 磁路的基本物理量	72	7.1.2 刀开关	115
5.1.2 磁性材料的磁性能	73	7.1.3 熔断器	115
5.1.3 磁路的分析方法	75	7.1.4 交流接触器	116
5.2 交流铁芯线圈电路	78	7.1.5 热继电器	116
5.2.1 电磁关系	78	7.2 电动机的起动-停止控制	117
5.2.2 电压电流关系	78	7.2.1 电动机的点动控制	117
5.2.3 功率损耗	79	7.2.2 电动机的长动控制	118
5.3 变压器	80	7.3 电动机的正反转控制	119
5.3.1 概述	80	7.4 行程控制	120
5.3.2 变压器的工作原理	82	7.5 时间控制	121
5.3.3 变压器的额定值、外特性与效率	85	习题 7	123
5.3.4 自耦变压器与三相变压器	85		
5.3.5 变压器的绕组极性与测定	86	第 8 章 可编程控制器 PLC 及其应用	124
5.4 电磁铁	87	8.1 可编程控制器的结构和工作方式	124
		8.1.1 可编程控制器的硬件结构和功能	124
		8.1.2 可编程控制器的基本工作原理	127
		8.1.3 可编程控制器的主要技术指标	128

8.1.4 可编程控制器的特点	130	9.1.2 电工仪表的类型	146
8.2 可编程控制器的程序编写	131	9.1.3 电工测量仪表的选择原则	146
8.2.1 可编程控制器的编程语言	131	9.2 电量的测量	147
8.2.2 可编程控制器的指令系统	132	9.2.1 电流的测量	147
8.2.3 可编程控制器的编程方法和 原则	136	9.2.2 电压的测量	147
8.3 可编程控制器应用举例	138	9.2.3 电功率的测量	148
习题 8	142	9.2.4 万用表	149
第 9 章 电工测量	144	9.3 兆欧表	150
9.1 电工仪表的一般知识	144	习题 9	151
9.1.1 电工仪表的分类	144	参考文献	152

第1章 直流电路

本章以直流电路为分析对象,讨论电路的基本物理量、基本知识、基本定律以及电路的分析和计算方法,其中有些内容不仅适用于直流电路,同样也适用于交流电路。

1.1 电路的基本物理量

电路是将某些元器件或用电设备根据需要连接起来的电流的通路。

电路的作用一般有两种:

(1) 实现电能的传输和转换。例如在电力系统中,发电厂将风能、水能、核能等其他形式的能量转化为电能,通过输电线路输送到用户端,用户则将输送来的电能转化为其他形式的能量使用,如使电灯点亮、电动机转动等。

(2) 实现信号的传递和处理。例如在电子电路中,将一个小的电信号输送到放大电路的输入端,经过放大电路放大后,传递到负载端,负载可将这个放大的电信号再转换为其他信号输出。

无论哪一种形式的电路,它都基本包括电源、负载及传输线路。

下面介绍电路中常用的几个物理量。

1.1.1 电流

电流是指单位时间通过某一横截面的电荷量,常用单位为安培(A)。通常随时间变化的电流用符号 $i(t)$ 表示,简写为 i ; 不随时间变化的电流(通常也称为直流)用大写字母 I 表示。因此,一般电流的定义可写为

$$i(t) = \frac{dQ}{dt}$$

在直流电路中,电流 I 通常表示为

$$I = \frac{Q}{T}$$

在电路中,电流有两种方向:实际方向和参考方向。

电流的实际方向通常规定为正电荷的运动方向。

在电路中,若想求解某一支路电流的大小,一般需要通过列写方程求解,而方程中电流前面的正、负号需要根据电流的方向确定。但是在复杂的直流电路中,往往很难预先判断出某一条支路中电流的实际方向。因此,通常的做法是在电路中任意标示出电流的方向,而将这一任意标示的方向称为参考方向(也称为正方向)。

电流的参考方向与实际方向存在两种关系：若参考方向与实际方向是一致的，则在这个参考方向的规定下，列方程求解出的电流一定是正值；反之，若参考方向与实际方向是相反的，则在这个参考方向的规定下，列方程求解出的电流一定是负值。

另外，也可以得到这样的结论：标示好参考方向后，若计算出的电流为正值，则说明该电流的实际方向与标示的电流的参考方向一致；若计算出的电流为负值，则说明该电流的实际方向与标示的参考方向相反。

因此，在电路的分析与计算中，我们通过标示出电流的参考方向→在该参考方向下列写方程→计算数值，最终才能知道该电流的大小及实际方向。

在电路中标示电流的参考方向时，可以采用箭头来表示该电流的方向，如图 1.1 所示。

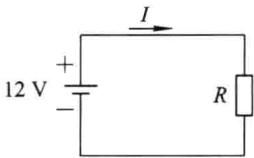


图 1.1 电流方向的表示方法

1.1.2 电压、电动势和电位

1. 电压

电压是指电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的电能，常用单位为伏特(V)。电压的符号用 u (交流)或 U (直流)表示。

与电流一样，电压也有实际方向和参考方向之分。

电压的实际方向规定为从高电位端指向低电位端，即电位降落的方向，因此，电压也往往被称为电位降。电压的参考方向是指任意假设的方向。

在电路中标示电压的方向时，可以采用“+”、“-”极性分别表示该端点的高、低电位；也可以用箭头来表示电压的方向，如图 1.2 所示。

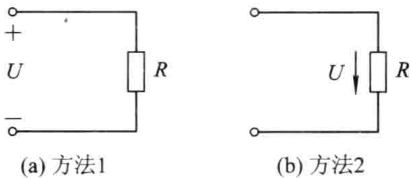


图 1.2 电压方向的两种表示方法

在电路的分析和计算中，列写电路方程之前，应在电路图中标示出未知电压的参考方向。

2. 电动势

电动势是指在电源内部，电源力推动单位正电荷从其负极(低电位端)移动到正极(高电位端)所作的功。电动势的常用单位与电压相同，也是伏特(V)。电动势的符号用 e (交流)或 E (直流)表示。

电动势的实际方向规定为从电源的低电位端指向高电位端，即电位升高的方向，这与电压方向的规定刚好相反。在电路的分析和计算中，在电路图中要标示出未知电动势的参

考方向。

值得注意的是,不含内阻的电压源,其大小既可以用电动势表示,也可以用电压表示,两者数值相同;无论是用电动势还是用电压来表示直流电压源,电源的正、负极性都是恒定的。例如在图 1.1 所示的电路中有一个 12 V 的电源,12 V,既可以说电动势的大小为 12 V,也可以说电源电压的大小是 12 V;而电源的极性则不会因为采用电动势描述或采用电压描述发生变化,都是上为“+”、下为“-”的极性。

3. 电位

电位是指电场力将单位正电荷从电路的某一点移至参考点时所消耗的电能,常用单位为伏特(V)。电位的符号用 v (交流)或 V (直流)表示。

若将电路中的某一点选为参考电位点,则该点的电位一般取为零值。将电路中某一点相对于参考电位点的电压称为该点的电位。因此,电压也称电位差。电位是相对于确定的参考电位点而言的。

在同一电路中,参考电位点选得不同,则电路中各点的电位也不同;但任意两点间的电压不变,即电压的大小与参考电位点的选择无关。因此,电位的大小是相对的,电压的大小是绝对的。

一般常用以下两种方法选择参考电位点:将电气设备的机壳与大地相连接的端点作为参考电位点,称之为接地端,用符号“ $\perp$ ”表示;在电子电路中,一般将与机壳或底板相连接的公共端作为参考电位点,用符号“ $\perp$ ”表示。

1.1.3 电功率

电功率是指电气设备在单位时间内消耗的电能,简称功率,常用单位为瓦特(W)。电功率的符号用 p (交流)或 P (直流)表示。

1.1.4 电能

电能是指在时间 t 内转换的电功率,常用单位为焦耳(J)。在实际生活中,也常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 作为电能单位,1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 即为一度电。电能的符号用 w (交流)或 W (直流)来表示。

1.2 电路的状态

1.2.1 通路

通路是指将电源与负载接通,此时电路中会有电流的传输及能量的转换,那么电路的这一状态称为通路。如图 1.3 所示,若将开关 S 闭合,则电路为通路状态。

电路接通后,接在电路中的电气设备处于工作状态。全面考虑电气设备的可靠性、安全性、使用寿命等因素,其电压、电流和功率都有一定的限额,这些限额值就称为电气设备的额定值。电气设备的额定值一般会标示在铭牌上或写在说明书中,使用电气设备之前应先了解它的额定值。

另外,电气设备的实际测量值并不一定等于它的额定值,这是由实际的工作情况决定

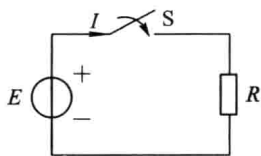


图 1.3 电路的通路状态

的。例如，一个交流 220 V、30 W 的灯，只有接在交流 220 V 的电压中，其功率值才是 30 W；若接在 110 V 的电压中，其功率只有 7.5 W。

1.2.2 开路

开路是指将电源与负载或部分电路断开，此时电路中没有电流通过，那么电路的这一状态称为开路，如图 1.4 所示。开路时，电源对外不输出电能。

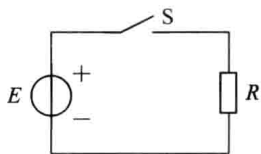


图 1.4 电路的开路状态

开路时，电路具有以下特点：开路处的电流为零；开路处的端电压大小取决于电路的具体状态。

1.2.3 短路

短路是指将部分电路的两端直接用导线连接起来，使得该部分电路的电压为零，那么将该部分电路的状态称为短路，如图 1.5 所示。

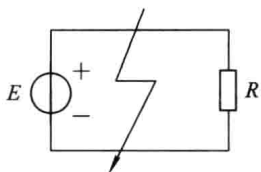


图 1.5 电路的短路状态

短路时，电路具有以下特点：短路处的电压为零；短路处的电流大小取决于电路的具体状态。

另外注意：一般短路时，电路中的电流比正常电流大很多，时间长时会引起设备烧毁或发生火灾，因此在工作中，应尽量避免发生短路事故。

1.3 欧姆定律

通常流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这就是欧姆定律。欧姆定律是分析电路的基本定律之一。欧姆定律可以用下式表示：

$$R = \pm \frac{U}{I} \quad (1.1)$$

式中, R 为该段电路的电阻。

电阻的常用单位是欧姆(Ω), 此外, 还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$), $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$, $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ 。

欧姆定律中的正、负号的使用是这样规定的: 若电阻的端电压的参考方向与流经该电阻的电流的参考方向是关联一致的, 则用正号; 反之, 用负号。

那么, 什么是电压与电流的参考方向关联一致呢?

在前面介绍电流和电压的方向时, 曾经给出了参考方向的定义, 即任意标示的方向。在电路中, 若元件两端的电压的参考方向与流经该元件的电流的参考方向如图 1.6 所示, 则表示电压与电流的参考方向关联一致。除此之外的标示方向, 都是关联不一致的参考方向。

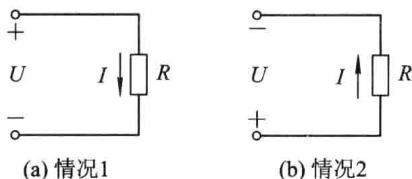


图 1.6 参考方向关联一致的两种情况

另外, 有时需要判断电路中的某一元件是电源还是负载, 可以根据功率的计算结果判断。电路中所指的电源是指输出(发出、产生)电功率的元件; 负载是指取用(吸收、消耗)电功率的元件。

功率的计算公式如下:

$$P = \pm UI \quad (1.2)$$

公式(1.2)中正、负号的选择: 当 U 与 I 的参考方向关联一致时, 用正号; 反之, 用负号。另外, 该公式中的 U 和 I , 其本身的数值也可以为正值或负值, 这是由它们的实际方向与参考方向是否一致而决定的。

最后, 根据计算出的功率值的正、负来判断该元件是电源或负载, 若 $P > 0$, 则说明该元件是负载; 若 $P < 0$, 则说明该元件是电源。

【例 1.1】 在图 1.7 所示的电路中, 已知 U_{S1} 、 U_{S2} 和 I 均为正值。试问哪一个电源是吸收功率的?

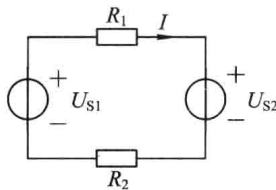


图 1.7 例 1.1 图

解 根据功率的计算公式 $P = \pm UI$, 那么

(1) 对于电源 U_{S1} , 功率 $P_{S1} = -U_{S1} I < 0$, 所以 U_{S1} 是电源, 即发出功率的元件。

(2) 对于电源 U_{S2} ，功率 $P_{S2} = U_{S2} I > 0$ ，所以 U_{S2} 是负载，即吸收功率的元件。

1.4 电阻的串、并联连接

1.4.1 电阻的串联连接

电阻的串联连接是指两个或两个以上的电阻顺序相连，如图 1.8(a) 所示。

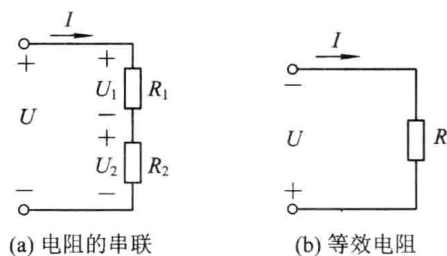


图 1.8 电阻的串联连接

串联连接的电阻有如下特点：各电阻中通过同一个电流；串联连接的电阻可以用一个等效电阻替换，如图 1.8(b) 所示，这个等效电阻等于各串联电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.3)$$

另外，当两个电阻串联连接时，各电阻的端电压可以通过以下分压公式得到：

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.4)$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.5)$$

1.4.2 电阻的并联连接

电阻的并联连接是指两个或两个以上的电阻分别连接在两个公共端之间，如图 1.9(a) 所示。

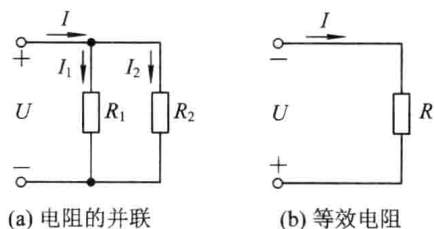


图 1.9 电阻的并联连接

并联连接的电阻有如下特点：各电阻的端电压相同；并联连接的电阻可以用一个等效电阻替换，如图 1.9(b) 所示，这个等效电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{或} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6)$$

另外，当两个电阻并联连接时，各电阻中的电流可以通过以下分流公式得到：

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \frac{I}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1.7)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1.8)$$

1.5 理想电源

1.5.1 理想电压源

理想电压源又称为恒压源，是指可以提供一个固定电压 U_s 的电源，如图 1.10(a) 所示。理想电压源的伏安特性曲线如图 1.10(b) 所示，从伏安特性曲线可以知道，理想电压源的特点有以下两点：

- (1) 理想电压源的端电压 U 恒等于电源的电压 U_s ，与输出电流和外电路的情况无关。
- (2) 理想电压源的输出电流 I 与输出电压和外电路的情况有关，可随外电路的变化而变化。

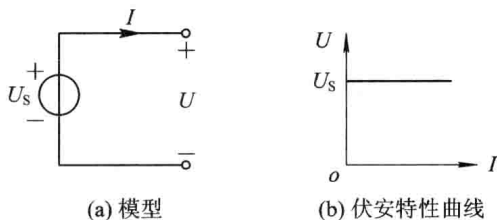


图 1.10 理想电压源

1.5.2 理想电流源

理想电流源又称为恒流源，是指可以提供一个固定电流 I_s 的电源，如图 1.11(a) 所示。理想电流源的伏安特性曲线如图 1.11(b) 所示，从伏安特性曲线可以知道，理想电流源的特点有以下两点：

- (1) 理想电流源的输出电流 I 恒等于电源的电流 I_s ，与端电压和外电路的情况无关。
- (2) 理想电流源的端电压 U 与输出电流和外电路的情况有关，可随外电路的变化而变化。

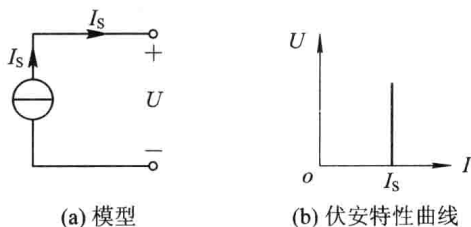


图 1.11 理想电流源

【例 1.2】 在图 1.12 中，已知 $U_s = 4 \text{ V}$ ， $I_s = 5 \text{ A}$ ， $R = 1 \Omega$ 。

- (1) 求电压源中的电流和电流源的端电压。
 (2) 说明电路中哪一个元件是电源, 哪一个元件是负载?

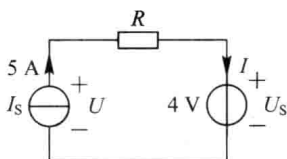


图 1.12 例 1.2 图

解 (1) 由于电压源与电流源串联, 因此

$$I = I_s = 5 \text{ A}$$

根据电流的方向列出方程, 得

$$U = RI + U_s = 9 \text{ V}$$

(2) 根据功率的计算公式 $P = \pm UI$, 则

$$P_{U_s} = U_s I = 20 \text{ W} > 0, \text{ 说明恒压源是负载。}$$

$$P_{I_s} = -U I_s = -45 \text{ W} < 0, \text{ 说明恒流源是电源。}$$

$$P_R = RI^2 = 25 \text{ W} > 0, \text{ 说明电阻是负载。}$$

由电路中各元件的功率计算结果说明, 电路的功率总是平衡的, 即

$$\sum P_{\text{吸收}} = \sum P_{\text{发出}}$$

1.6 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的重要定律之一。基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。在介绍基尔霍夫定律之前, 先介绍电路的几个基本概念。

电路的每一分支称为**支路**, 同一支路中各元件流过相同的电流。

三条或三条以上的支路相连接的点称为**结点**。

电路中每一闭合路径形成的电路称为**回路**。

单孔回路称为**网孔**。

对图 1.13 分析可知, 该电路有两个结点, 分别为 a 和 b; 有三条支路, 各条支路包含的电路元件分别为 E_1 和 R_1 、 E_2 和 R_2 、 R_3 ; 有三个回路, 各回路包含的电路元件分别为 E_1 、 R_1 、 R_2 和 E_2 , E_2 、 R_2 和 R_3 , E_1 、 R_1 和 R_3 ; 有两个网孔, 各网孔包含的电路元件分别为 E_1 、 R_1 、 R_2 和 E_2 , E_2 、 R_2 和 R_3 。

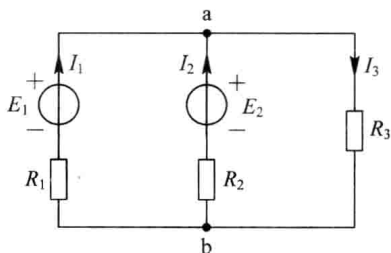


图 1.13 基尔霍夫定律

根据基尔霍夫电流定律可针对电路的结点列写出电流方程；根据基尔霍夫电压定律则可针对电路的回路列写出电压方程。

1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

由于电路中的电流是由不断流动的电荷形成的，因此在电路的任何点(包括结点)，电荷都不能发生堆积现象，否则无法保证电荷的流动性。

基尔霍夫电流定律就是对这一现象作出的描述：在任意时刻，流入某一结点的电流之和等于流出该结点的电流之和。

根据基尔霍夫电流定律的表述，对图 1.13 中的 a 结点可以列写如下方程：

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.9)$$

式(1.9)也可以写为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1.10)$$

因此，得到基尔霍夫电流定律的第二种表述：在任意时刻，某一结点的电流的代数和恒等于零。其中电流前面的正、负号这样规定：流入结点的电流，前面用正号；流出结点的电流，前面用负号。

基尔霍夫电流定律描述了与电路中某一结点相连接的各条支路电流之间的相互约束关系。除此之外，基尔霍夫电流定律还可以推广应用于电路的广义结点。所谓的广义结点，是指电路中任何一个假定的闭合面。

如图 1.14 所示，虚线圈起来的电路是一个闭合面，可将这个闭合面视为广义结点，则针对该闭合面，同样可以用基尔霍夫电流定律来描述，即流入该闭合面的电流等于流出该闭合面的电流。因此有

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (1.11)$$

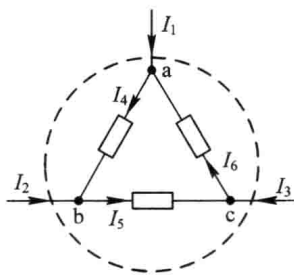


图 1.14 广义结点的基尔霍夫电流定律

【例 1.3】 在图 1.14 所示的电路中，已知 $I_1 = 6 \text{ A}$ ， $I_4 = 2 \text{ A}$ ， $I_5 = -3 \text{ A}$ 。试求 I_2 、 I_3 和 I_6 。

解 根据图中标示的各电流的参考方向，对结点 a、b、c 分别应用基尔霍夫电流定律，因此有

$$\text{a 结点: } I_6 = I_4 - I_1 = 2 - 6 = -4 \text{ A}$$

$$\text{b 结点: } I_2 = I_5 - I_4 = -3 - 2 = -5 \text{ A}$$

$$\text{c 结点: } I_3 = I_6 - I_5 = (-4) - (-3) = -1 \text{ A}$$

另外，也可以对图中的广义结点应用基尔霍夫电流定律，可得

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -6 - (-5) = -1 \text{ A}$$

与上面通过 c 结点计算出 I_3 的结果一致。

【例 1.4】 在图 1.15 中, 求 $2\ \Omega$ 电阻中的电流。

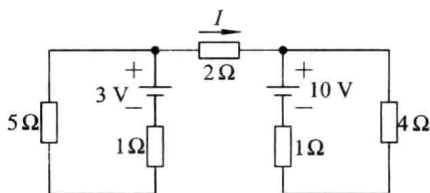


图 1.15 例 1.4 图

解 将右网孔视为一个广义结点(左网孔同样也是一个广义结点), 则与该广义结点相连接的支路只有 $2\ \Omega$ 电阻所在的支路。那么, 该支路中的电流只有为零时, 才能保证此广义结点上的电流的代数和恒等于零。因此

$$I = 0$$

1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

电路中任意一点的电位, 在任意某一时刻都是唯一、不变的, 也就是说, 电路中任意一点的瞬时电位具有单值性。

基尔霍夫电压定律就是对这一现象作出的描述: 在任意时刻, 从电路的任意一点出发, 以顺时针或逆时针方向沿回路循环一周, 则在这个方向上的电位升之和等于电位降之和。

根据基尔霍夫电压定律的表述, 对图 1.16 中的左网孔, 按照顺时针的循行方向可以列出下方程:

$$U_2 + U_4 = U_3 + U_1 \quad (1.12)$$

式(1.12)也可以写为

$$U_2 - U_3 + U_4 - U_1 = 0 \quad (1.13)$$

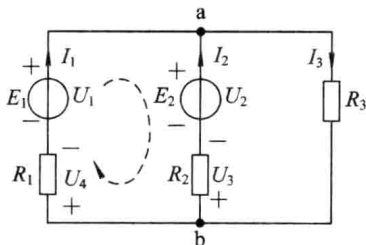


图 1.16 基尔霍夫电压定律

由此, 也可得到基尔霍夫电压定律的第二种表述: 在任意时刻, 从电路的任意一点出发, 以顺时针或逆时针方向沿回路循环一周, 则各段电压的代数和恒为零。可以规定: 与循行方向一致的电位降前面用正号; 与循行方向一致的电位升前面用负号。

在图 1.16 中, 由于电源的电动势与其电压大小相同, 因此电压可以用对应的电动势表示; 根据欧姆定律, 还可以写出电阻元件 R_1 和 R_2 的电压与电流的表达形式, 由于图中标示的 R_1 和 R_2 的端电压与流过的电流的参考方向关联一致, 故式(1.13)可以写为

$$E_2 - R_2 I_2 + R_1 I_1 - E_1 = 0 \quad (1.14)$$