



电工

DIANGONG
YU DIANZI

与电子技术

JISHU

张 亚 王瑞峰◇主编



电子科技大学出版社

电工与电子技术

DIANGONG
YU DIANZI JISHU

张 亚 王瑞峰◇主编

常州大学图书馆
藏书章



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术 / 张亚, 王瑞峰主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2015.12
ISBN 978-7-5647-3373-5

I. ①电… II. ①张… ②王… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 293466 号

电工与电子技术

张 亚 王瑞峰 主 编

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 610051)

策划编辑: 罗 雅

责任编辑: 罗 雅

主 页: www.uestcp.con.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都永先数码印刷有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15 字数 385 千字

版 次: 2015 年 12 月第 1 版

印 次: 2015 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-3373-5

定 价: 45.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

“电工与电子技术”课程是高等工科学校非电类专业的必修基础课之一。参照教育部电气信息类基础课程教学指导分委员会制定的教学基本要求,根据目前我国高校的教学改革状况和实际的教与学的情况,我们编写了此书。

在保证基础理论的同时,本书增加了实际工程应用电路和计算机辅助电路分析的内容。本书还结合工程应用给出了许多实际元器件的图片、常用元器件参数、集成器件的引脚图等,加强了教材的理论与实际的联系,力图使教材内容与工程应用相融合。

教学体系符合先易后难的教学规律,各部分教学内容相对完整,且前后呼应,有利于教师对教学内容的取舍,因材施教,从而进行多层次和不同学时的教学。

受编者学识水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,恳切希望热心读者提出宝贵意见。

编 者

2015 年 10 月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路	1
1.2 电路基本物理量	2
1.3 电路的基本定律	7
1.4 电路的几种状态和电气设备额定值	11
1.5 实际电源及其等效变换	13
1.6 电路中电位的分析	18
1.7 线性网络的分析方法	20
第 2 章 正弦交流电路	31
2.1 正弦交流电路的基本概念	31
2.2 正弦交流电的相量表示法	33
2.3 电阻中的正弦电流	38
2.4 串联正弦交流电路	39
2.5 并联正弦交流电路	47
2.6 基尔霍夫定律的相量形式	50
2.7 正弦交流电路的相量分析	51
2.8 功率因数的提高	57
2.9 串联谐振与并联谐振	60
第 3 章 三相电路	63
3.1 三相电源	63
3.2 三相电源的连接	65
3.3 三相负载的星形接法	68
3.4 三相负载的三角形接法	75
第 4 章 变压器	79
4.1 变压器的基本结构	79
4.2 变压器的工作原理	80
4.3 变压器的外特性、功率和效率	81
4.4 变压器绕组的极性	83
4.5 三相变压器	85
4.6 自耦变压器	86
4.7 代用互感器	87

第 5 章 三相异步电动机及其控制	89
5.1 三相异步电动机的构造	89
5.2 三相异步电动机的工作原理	90
5.3 异步电动机的电磁转矩和机械特性	95
5.4 三相异步电动机的使用	100
5.5 三相异步电动机的特性	107
5.6 三相异步电动机的选择	110
5.7 单相异步电动机	113
第 6 章 电路的暂态分析	117
6.1 暂态分析的基本概念	117
6.2 电路中的稳态与暂态	118
6.3 换路定律与初始值和稳态值的计算	119
6.4 一阶 RC 电路的响应	122
6.5 求解一阶电路的三要素法	127
6.6 微分电路和积分电路	130
第 7 章 半导体器件	133
7.1 半导体的基本知识与导电特性	133
7.2 半导体二极管	135
7.3 稳压管	138
7.4 晶体管	141
第 8 章 基本放大电路	147
8.1 发射极交流电压放大电路	147
8.2 共集电极放大电路	157
8.3 放大电路的静态分析	160
8.4 放大电路的动态分析	162
8.5 差动放大电路	167
8.6 功率放大电路	174
第 9 章 集成运算放大器	180
9.1 集成运算放大器简介	180
9.2 集成运放中的负反馈	184
9.3 负反馈对运放电路性能的影响	188
9.4 运算放大器的输入方式	189
9.5 集成运算放大器的线性应用	192
第 10 章 组合逻辑电路	203
10.1 数字电路简介	203
10.2 逻辑运算及门电路	205
10.3 辐逻辑函数及其化简	211
10.4 组合逻辑电路分析与综合	218
10.5 常用组合逻辑电路	220
参考文献	233

第 1 章 直流电路

1.1 电 路

电路，简言之就是电流所经之路。电路是由若干电气设备和元器件以一定方式构成的通有时将复杂的电路称为网络或系统。

1.1.1 电路的作用及组成

电路的基本作用可以概括为两大类：一类是实现电能的输送和转换。如发电厂的发电机把热能或原子能转换为电能。通过输电线输送到车间，再转换为机械能（纺纱机、织布机、印染机等）、光能（照明灯）。图 1-1 所示的电路是最简单的照明电路。电池把化学能转换成电能供给照明灯，照明灯再把电能转换成光能用于照明。对于这类电路而言，要求它具有较小的能量损耗和较高的效率传送电能。另一类是实现信息的处理与传递。如半导体收音机中的接收电路、调谐电路、放大电路、振荡电路、检波电路等组成的复杂电路对信号进行处理和传递。图 1-2 所示的电路是用热电偶测量温度的电路。热电偶把热信号（温度）转换成电信号（温差电动势），然后通过毫伏表指针偏转角度的大小，测出温度的高低。这类电路能量的传输和转换数量很小，主要考虑的问题是既准确又迅速地传递信号和处理信号。

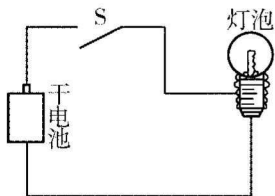


图 1-1 照明电路

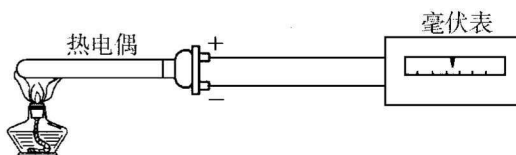


图 1-2 热电偶测温电路

实际电路的形式繁多，作用也各不相同，但它们都由三个主要部分组成，即电源、负载和中间环节。

电源是提供电能的装置。它将非电能转换为电能（如干电池、发电机等）或者把电能转换为另一种形式的电能或信号（如信号源、整流电源、变频电源及 UPS 不间断电源）。

负载是取用电能的设备和器件。它将电能转换成其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机、水泵、扬声器等。

中间环节是连接电源和负载的部分。它起传送、分配和控制电能的作用。如连接电源

与负载的传输线、开关、熔断器等。

1.1.2 电路元件与电路模型

组成各种电路的电气元件、电子器件或设备，统称为实际电路元件，简称为实际元件，用实际元件构成的电路称为实际电路。

一个实际元件往往呈现多种物理性质。例如一个白炽灯，当通有电流时，它不仅消耗电能，具有电阻特性，它还会产生磁场，具有电磁性质。为了便于对各种实际元件进行分析和用数学描述，常将实际元件理想化，即用一些理想电路元件来表征其特性。理想电路元件（简称电路元件）是对实际元件在一定条件下其电磁性质的科学抽象和概括。电路元件主要有电阻元件（简称电阻，用 R 表示）、电感元件（简称电感，用 L 表示）、电容元件（简称电容，用 C 表示）和电源元件（简称电源）等，这些元件分别由相应的参数来表征。

用理想电路元件代替实际电路元件组成的电路称为电路模型，它是实际电路的一种等效表示，故也称等效电路，如图 1-3 分别是图 1-1 照明电路和图 1-2 热电偶测温电路的电路模型。

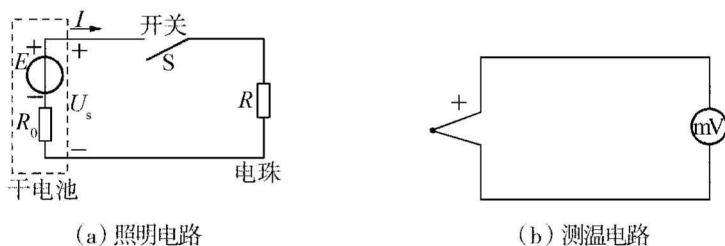


图 1-3 电路模型

在照明电路中，电阻的参数为 R ，用来表示电珠；电源的参数为电动势 E 和内电阻（简称内阻） R_0 ，用来表示干电池；联接干电池与电珠的中间环节（导线）、开关，其电阻可忽略不计，认为是无电阻的理想导体。

建立电路模型（简称电路）给实际电路的分析带来极大方便，在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号来表示。

1.2 电路基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向的指定

电流就是自由电荷在电场力的作用下，按照一定秩序定向移动而形成的。衡量电流强弱的物理量称为电流强度，简称电流，电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。例如，设在极短的时间 dt 内，通过导体横截面 S 的微量电荷量为 dq ，则该导体的电流为

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

式(1-1)所表示的电流是随着时间的变化而变化,称为变动电流,常用小写字母*i*表示。如果电流大小和方向都不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流。直流电流常用大写字母*I*表示,即

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

式中:*q*为通过导体横截面*S*的电荷量,在国际(SI)单位制中,其主单位为库仑,记作库(C);*t*为电荷通过导体横截面*S*的时间,单位为秒(s);*I*为电流强度,在国际(SI)单位制中,电流的主单位为安培,记作安(A)。比安培大的单位有千安,比安培小的单位有毫安、微安,其换算关系为

$$1 \text{ 千安 (kA)} = 10^3 \text{ 安培 (A)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 安培 (A)}$$

$$1 \text{ 微安 (}\mu\text{A)} = 10^{-6} \text{ 安培 (A)}$$

当电流作为信号通过电路时,欲求输入信号和输出信号之间的关系,首先应确定电路中信号的变动方向。习惯上常规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的。但是实际电路中,正电荷的移动方向往往事先是判断不出来的,而分析计算电路又必须事先知道电流方向,因此,引入电流的参考方向概念。

电流的参考方向通常是任意指定。并用实线箭头表示,如图1-4(a)所示。电流的参考方向也可以用双下标表示,如电流从支路*A*端流向*B*端,可记为*i_{AB}*。电流的参考方向一旦指定后,就不允许中间再变动。

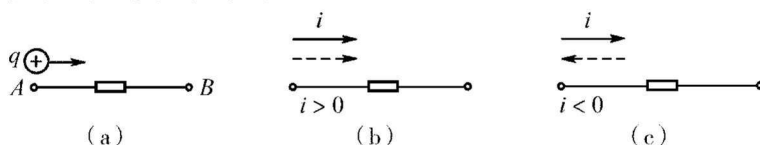


图1-4 电流的参考方向

根据电流的参考方向算出电流*i*值后,若*i*值大于零(*i*>0),说明电流的参考方向与其实际方向(用虚线箭头表示)一致(即参考方向就是电流的实际方向);若*i*值小于零(*i*<0),说明电流的参考方向与其实际方向相反(即参考方向的反方向为电流的实际方向)。由此可见,电流的正负值正是由于电流的参考方向与其实际方向的相同与不同而造成的,不规定电流的参考方向,电流的正负值也就没有意义了。若用实线箭头表示电流的参考方向,虚线箭头表示电流的实际方向,则电流的正负值,同电流的参考方向及电流的实际方向的关系,如图1-4(b)、(c)所示。

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考极性(方向)的指定

由物理学知,单位正电荷在电场力的作用下从*A*点移动到*B*点,电场力所做的功称为电压,习惯上常把电压从高电位端指向低电位端的方向称为电压的实际极性(方向)。设电场力将正电荷*Q*从*A*点移动到*B*点所做的功记为*W_{AB}*,则电压为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3)$$

式中:*W_{AB}*为电场力所做的功,在国际(SI)单位制中,其主单位为焦耳,记作焦(J);*U_{AB}*为*A*、*B*两点间的电压,在国际(SI)单位制中,其主单位为伏特,记作伏(V)。1伏

特表示电场力把 1 库仑的电荷从 A 点移动到 B 点电场力所做的功是 1 焦耳。比伏特大的单位有千伏，比伏特小的单位有毫伏、微伏，其换算关系为

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 10^3 \text{ 伏特 (V)}$$

$$1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^{-3} \text{ 伏特 (V)}$$

$$1 \text{ 微伏 (}\mu\text{V)} = 10^{-6} \text{ 伏特 (V)}$$

若取电路中某点 O 为参考点（即 $\varphi_O = 0\text{V}$ ），单位正电荷 q 在电场力作用下由 A 点移动到参考点 O 的电压称为电位，用字母 φ 表示，即

$$\varphi_A = U_{AO} = \frac{W_{AO}}{Q} = \varphi_A - \varphi_O \quad (1-4)$$

从而得，电路中任意两点间的电压，等于该两点之间的电位差。电位的单位和电压的单位一样。

值得指出：电位的数值与参考点的选择有关，而两点之间的电压值与参考点的选择无关。如图 1-5 (a) 所示电路，若取 C 点为参考点，即 $\varphi_C = 0\text{V}$ ，测得 $\varphi_A = 10\text{V}$ ， $\varphi_B = 6\text{V}$ 。由电压定义得

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 10 - 6 = 4\text{V}$$

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 10 - 0 = 10\text{V}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 6 - 0 = 6\text{V}$$

若取 B 点为参考点，即 $\varphi_B = 0\text{V}$ ，测得 $\varphi_A = 4\text{V}$ ， $\varphi_C = -6\text{V}$ 。由电压定义得

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4 - 0 = 4\text{V}$$

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 4 - (-6) = 10\text{V}$$

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = 0 - (-6) = 6\text{V}$$

在电源内部，电源力把单位正电荷从低电位端移到高电位端所做的功称为电动势，用字母 e 或 E 表示。电动势的单位和电压单位一样，电动势的实际极性（或方向）是从电源的负极（低电位端）指向正极（高电位端）。

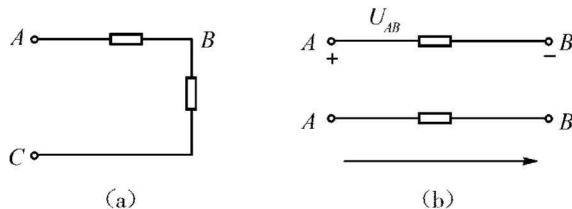


图 1-5

电压的参考极性（或方向）也是任意指定的。其标法从高电位端指向低电位端可用双下标表示，如 U_{AB} 或用 “+”、“-” 号表示，也可用实线箭头表示（箭头方向从高电位端指向低电位端），如图 1-5 (b) 所示。

对于任意一段电路，任意指定该电路电压的参考极性（方向）后计算出的电压值（如 U_{AB} ），若 $U_{AB} > 0$ ，说明该电路电压的参考极性（方向）和实际极性（方向，如虚线箭头所示）一致，如图 1-6 (a) 所示；若 $U_{AB} < 0$ ，说明该电路电压的参考极性（方向）和实际极性（方向）相反，如图 1-6 (b) 所示。

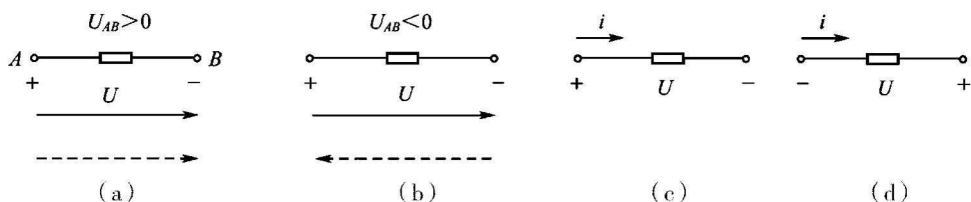


图 1-6

对于任意一段电路（或一个元件），其上电压的参考极性（方向）与电流的参考方向可以分别独立地任意指定，若指定电流从该段电路（或元件）的电压正极流入，并从其负极流出，即该段电路（或元件）的电压参考极性（方向）与其电流参考方向一致，这种参考方向，称为关联参考方向，如图 1-6（c）所示；否则为非关联参考方向，如图 1-6（d）所示。

【例 1-1】已知图 1-7 所示电路中， $U_{BC} = 20\text{V}$ ， $\varphi_A = 60\text{V}$ ， $U_{CD} = 10\text{V}$ ，试求 φ_D 、 φ_E 和 U_{AB} 的值。若通过 AB 支路电流为 I_{BA} ，试说明该支路电压和电流是否为关联参考方向？

解：由图 1-7 知 $\varphi_C = 0\text{V}$ ， $U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 10\text{V}$ ，所以有

$$\varphi_D = \varphi_C - 10 = 0 - 10 = -10\text{V}$$

又因为 E 点断开， R_4 上无电流通过，所以

$$\varphi_E = \varphi_D = -10\text{V}$$

由 $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$ 得

$$\varphi_B = U_{BC} + \varphi_C = 20\text{V}$$

所以

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 60 - 20 = 40\text{V}$$

因为 $U_{AB} = 40\text{V}$ ，电压参考极性是从 A 指向 B ，而电流 I_{BA} 其参考方向是从 B 指向 A ，所以该支路电压和电流为非关联参考方向。

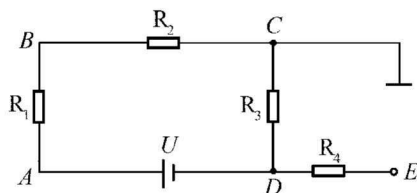


图 1-7

1.2.3 电功率

当电流载着信号通过电路时，伴随着传递和转换电能。电能传递和转换的速率称为电功率。若用 P 表示电功率，则电功率和电能的关系为

$$P = \frac{dW}{dt}$$

由电压定义

$$u = \frac{dW}{dq}$$

所以电功率为

$$P = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

式中： dW 为电路在极短的时间 dt 内传递和转换的电能（电功），在国际（SI）单位制中，电能（电功）的主单位为焦耳，记作焦（J）； P 为电功率，在国际（SI）单位制中，

功率的主单位为瓦特，记作瓦（W）。比瓦特大的单位有千瓦、兆瓦，比瓦特小的单位有毫瓦，其换算关系为

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 10^3 \text{ 瓦 (W)}$$

$$1 \text{ 毫瓦 (mW)} = 10^{-3} \text{ 瓦 (W)}$$

$$1 \text{ 微瓦 (}\mu\text{W)} = 10^{-6} \text{ 瓦 (W)}$$

电能的单位，实际上常用千瓦时（kW·h），又称度，它表示功率为1kW的用电设备在1h内所用的电能。

【例1-2】已知图1-8a所示电路中， $I=2\text{A}$ ， $U=5\text{V}$ ，参考方向如图所示，试求该电路的功率，并判别该功率是吸收还是发出。

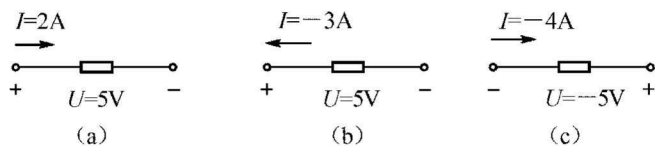


图 1-8

解：由图1-8a所示电路知，其电压与电流为关联参考方向，所以

$$P = UI = 5 \times 2 = 10\text{W} > 0$$

因为 $P = 10\text{W} > 0$ ，所以该电路吸收功率。

由图1-8b所示电路知，其电压与电流为非关联参考方向，所以

$$P = -UI = -5 \times (-3) = 15\text{W}$$

因为 $P = 15\text{W} > 0$ ，所以该电路吸收功率。

由图1-8c所示电路知，其电压与电流为非关联参考方向，所以

$$P = -UI = -(-5) \times (-4) = -20\text{W}$$

因为 $P = -20\text{W} < 0$ ，所以该电路发出功率。

根据式(1-5)分析一台发电机，若要发电机发出大的功率，除了要有大的电流外，还必须有高的电压。但在实际生产中，任何发电机输出的电压和电流都有一定限制，因而功率也有一定限制。其实任何电气设备的电压、电流及功率都有一定限制，这个限制就是额定值。它是制造厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。大多数电气设备的寿命与绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当通过某电气设备的电流超过其额定值过多时，该产品就会因过热而造成绝缘材料损坏；当外施于该电气设备的电压超过其额定值过多时，该设备就会因过压造成其绝缘材料被击穿，因而影响了使用寿命。由于功率、电压和电流之间有一定的关系，所以在给定值时，没有必要全部给出。例如电灯、电炉等电气设备（元件）通常只给出额定电压和额定功率，固定电阻除给出阻值外，只给出额定功率等。

关于电流、电压和功率的国际（SI）单位制的主单位，在实际应用时，有时嫌大，有时又嫌小，不大方便，因此常在这些单位前面加上词头形成辅助单位，如表1-1所列。

表 1-1

词头	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
符号	p	n	μ	m	k	M	G	T
读法	皮（可） pico	纳（诺） nano	微 micro	毫 milli	千 kilo	兆 mega	吉（咖） giga	太（拉） tera

1.3 电路的基本定律

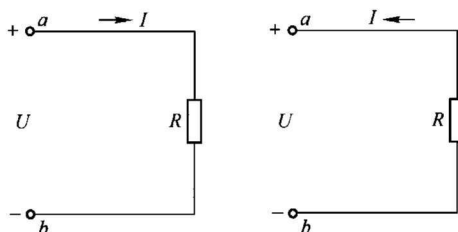
电路的基本定律有欧姆定律和基尔霍夫定律。欧姆定律说明一段电路上的电压和电流的关系，而基尔霍夫定律概括了电路中各电压之间和电流之间分别遵循的基本规律。

1.3.1 欧姆定律

1. 一段无源电路欧姆定律

流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。对图 1-9 所示电路，欧姆定律可用下式表示：

电压极性与电流方向一致时，见图 1-9 (a)。



(a) U 与 I 正方向一致 (b) U 与 I 正方向相反

图 1-9 无源支路欧姆定律

$$U = IR$$

或

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-6)$$

电压极性与电流方向相反时，见图 1-9 (b)。

$$U = -IR \text{ 或 } R = -\frac{U}{I} \quad (1-7)$$

欧姆定律是通过实验得出的。

2. 有源支路欧姆定律

电路中每一分支称为支路。一条支路只流过一个电流。含有电源的支路称为有源支路。把欧姆定律应用在有源支路上是欧姆定律的推广。根据图 1-10 所示电路模型推导如下：

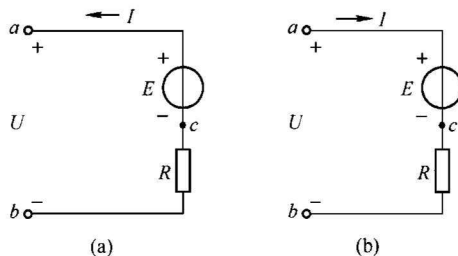


图 1-10 有源支路欧姆定律

在图 1-10 (a) 中，电流方向与电动势极性一致，而与电压极性相反，此时

$$E = U_a - U_c$$

$$IR = U_b - U_c$$

两式相减得有源支路欧姆定律的表达式为

$$U_a - U_b = U = E - IR$$

$$I = \frac{E - U}{R} \quad (1-8)$$

在图 1-10 (b) 中, 电流, 的方向与电动势极性相反, 与电压极性一致, 此时

$$E = U_a - U_c$$

$$IR = U_c - U_b$$

两式相加得有源支路欧姆定律的表达式

$$U_a - U_b = U = E + IR$$

$$I = \frac{U - E}{R} \quad (1-8)$$

从式 (1-8) 和式 (1-9) 得知, 电动势 E 和端电压 U 的符号与其极性的选定有关。

【例 1-3】在图 1-11 电路中, 已知 $E_1 = 2\text{V}$, $E_2 = 4\text{V}$, $R_1 = R_2 = 2\Omega$, 求电流 I 和电压 U 。

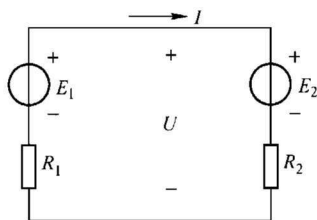


图 1-11 例 1-3 题图

解: 电压和电流方向如图 1-11 所示, 根据有源支路欧姆定律写出两个有源支路的电压与电流关系表达式

$$E_1 - IR_1 = U$$

$$E_2 + IR_2 = U$$

两式联立得 $E_1 - IR_1 = E_2 + IR_2$, 所以

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \quad (1-13)$$

由此式可推广得出简单闭合电路欧姆定律的一般表达式:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (1-10)$$

式中的电动势, 凡与电流 I 的正方向一致的取正号, 反之取负号。

将数据代入式 (1-10) 中, 得

$$I = \frac{2 - 4}{2 + 2} = -0.5\text{A}$$

电压 $U = E_1 - IR_1 = 2 - (-0.5) \times 2 = 3\text{V}$ 。

从例 1-3 的计算中得知, 按电动势极性和电流的方向看, E_1 是电源, E_2 是负载, 但计算结果电流等于负值, 表示电流的实际方向与正方向相反。实际上, E_1 是负载, E_2 是电源。

1.3.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律，基尔霍夫第一定律是电流定律，应用于节点。基尔霍夫第二定律是电压定律，应用于回路。现以图 1-12 所示的电路为例，说明节点、回路等名称的含义。

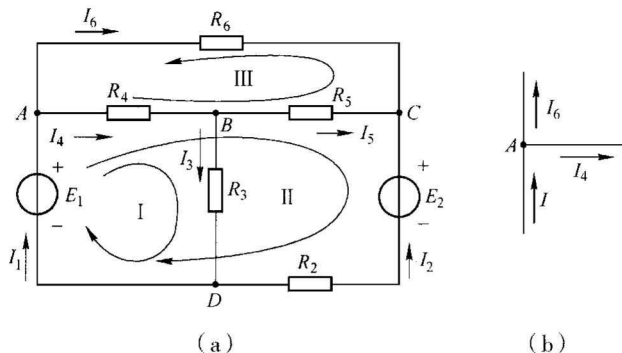


图 1-12 复杂电路举例

支路：电路中的每一分支称为支路，图 1-12 所示的电路中共有六条支路，每条支路中电流正方向如图所示。

节点：三条或三条以上支路的连接点称为节点，图 1-12 中的 A、B、C 和 D 都是节点。

回路：由一条或多条支路组成的闭合电路称为回路。图 1-12 中的 ABDA、ABCA 和 ABCA 都是回路，也可用回路 I、回路 II 和回路 III 表示，并以 “ $\curvearrowright$ ” 符号为标记。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律用以描述电路中任一节点上各支路电流间的关系。即：在任一瞬间，流入节点电流之和等于流出该节点电流之和。对图 1-12 节点 A 可以写成

$$I_1 = I_4 + I_6 \quad (1-11)$$

或改写成

$$I_1 - I_4 - I_6 = 0$$

$$\sum I = 0 \quad (1-12)$$

这样 KCL 又可描述成：在任一瞬间，流入节点电流的代数和等于零。这里正方向流入节点的电流取正值，正方向流出节点的电流取负值。反之亦可。

若是用假想的封闭面包围电路中的一部分，如图 1-13 所示，则流入（或流出）封闭面的电流的代数和恒等于零，即

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

封闭面被看成广义节点。

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律用以描述回路内各部分电压间的关系。即在任一瞬时，沿任一回路绕行一周，回路中各段电压降的代数和恒等于零，即

$$\sum U = 0 \quad (1-13)$$

在写上式时，首先需要选定某回路的绕行方向（顺时针或逆时针）。凡电压降方向与回路绕行方向一致者，在式中该电压前取 “+” 号；电压降方向与回路绕行方向相反者，

则电压前取“-”号。以图 1-14 为例各段电压降方向如图所示。

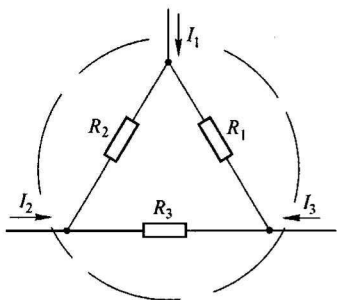


图 1-13 电流定律用于广义节点

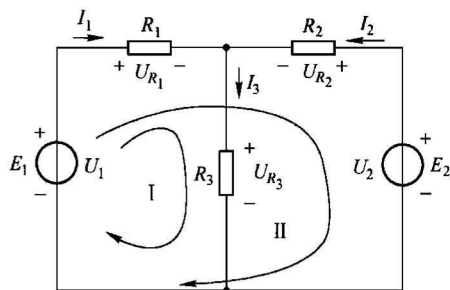


图 1-14 电压定律应用电路

取回路 I 和 II 的绕行方向为顺时针方向，则式 (1-13) 可写成

对回路 I

$$U_{R_1} + U_{R_3} - U_1 = 0$$

对回路 II

$$U_{R_1} - U_{R_2} + U_2 - U_1 = 0$$

在电路分析过程中，有时电阻上的电压降不设极性（或方向），这时可根据电流方向而定：凡电流方向与回路绕行方向相同者，则电阻上的电压降取正号，反之取负号。因此，对图 1-14 所示的由电源电动势和电阻构成的各回路，式 (1-13) 还可写成

$$\text{对回路 I: } I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$$

$$\text{对回路 II: } I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 - E_1 = 0$$

【例 1-4】有一闭合回路如图 1-15 所示，已知 $U_{AB} = 10\text{V}$ ， $U_{CD} = -7\text{V}$ ， $U_{DA} = -15\text{V}$ 。试求：(1) U_{BC} ；(2) U_{DB} 。

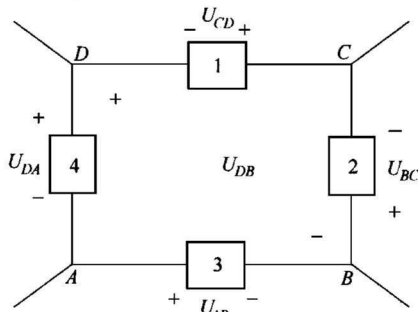


图 1-15 例 1-4 题图

解：根据 KVL 定律可以列出电压方程如下：

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

$$\text{所以 } 10 + U_{BC} + (-7) + (-15) = 0$$

$$\text{得 } U_{BC} = 12\text{V}$$

ABDA 虽然不是闭合回路，也可以依照 KVL 定律推广应用，即

$$U_{DB} = U_{DA} + U_{AB} = -15 + 10 = -5\text{V}$$

$$\text{或 } U_{DB} = U_{DC} + U_{CB} = -U_{CD} - U_{BC} = -(-7) - 12 = -5\text{V}$$

U_{DB} 等于负值，说明 U_{DB} 的实际极性和假设极性相反。

【例 1-5】在图 1-16 电路中，各参数为： $I_2 = 2\text{A}$ ， $I_3 = 2\text{A}$ ， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 6\Omega$ ， U_{ab}

$=24\text{V}$, $E_2=48\text{V}$, 求 I_1 、 E_1 及 R_3 。

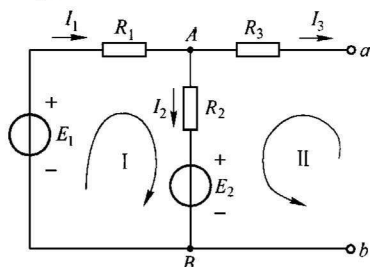


图 1-16 例 1-5 题图

解：图 1-16 电路中， I_1 不为零，说明 a 、 b 两端间实际上并没有开路。

对于节点 A ，由 KCL 定律可写出各支路电流关系式即节点电流方程为

$$I_1 = I_2 + I_3$$

所以

$$I_1 = 2 + 2 = 4\text{A}$$

对于回路 I，根据 KVL 定律可写出电压方程式即回路

电压方程为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

得

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + E_2 = 4 \times 10 + 2 \times 6 + 48 = 100\text{V}$$

对于回路 II，可写出回路电压方程为

$$E_2 = U_{ab} + I_3 R_3 - I_2 R_2$$

$$\text{求出 } R_3 = \frac{E_2 + I_2 R_2 - U_{ab}}{I_3} = \frac{48 + 2 \times 6 - 24}{2} = 18\Omega$$

1.4 电路的几种状态和电气设备额定值

图 1-17 是一个简单直流电路，其中包括一个具有源电压 U_s 和内阻 R_0 的电源，通过电阻为 R_l 的导线，向负载电阻 R_L 供电，开关 S 控制电源的接通和断开，熔断器 FU 实现短路保护。下面讨论电路可能具有的各种工作状态。

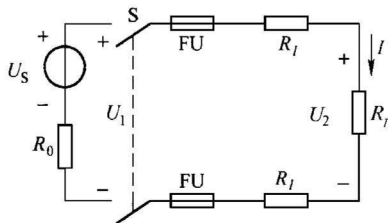


图 1-17 简单电路

1.4.1 负载状态

将图 1-17 中的开关 S 闭合，把电源与负载接通，电路的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + 2R_l + R_L}$$