

高自考、新高职电工基础课丛书

康晓东 主编

电工技术 基础教程

(应用电子技术及电气电子类)

康巨珍 康晓东 编著

南开大学出版社

7 M1-43
1226

高自考、新高职电工基础课丛书

电工技术基础教程

(应用电子技术及电气电子类)

康晓东 主编

康巨珍 康晓东 编著

南开大学出版社

·天 津·

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术基础教程/康巨珍, 康晓东编著. —天津:
南开大学出版社, 2000.10

(高自考试、新高职电工基础课丛书. 应用电子技术及电子类)

ISBN 7-310-01410-3

I. 电… II. ①康…②康… III. ①电子技术—高等教育—自学考试—教材②电子技术—高等教育: 职业教育—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 19359 号

出版发行 南开大学出版社

地址: 天津市南开区卫津路 94 号

邮编: 300071 电话: (022) 23508542

出版人 张世甲

承 印 天津宝坻第十印刷厂印刷

经 销 全国各地新华书店

版 次 2000 年 10 月第 1 版

印 次 2000 年 10 月第 1 次印刷

开 本 850mm×1168mm 1/32

印 张 14.75

字 数 365 千字

印 数 1—3000

定 价 21.00 元

前 言

电在国民经济迅速发展和人民生活水平不断提高的今天，占有极其重要的位置。

对电的内容的研究大体分为三类：(1) 电力——主要研究电能生产发展及应用的学科；(2) 电子——主要研究电子器件生产发展及应用的学科；(3) 无线电——主要研究通信、遥控、导航等电路技术的学科。从“三电”的共同性基本规律与相互关系出发，研究电与磁的基本规律与分析方法的科学称为电工原理。

电工原理主要有两大分析方法，即电路分析和电路综合。电路分析是指给定电路的结构形式及有关参数，来计算电路各部分的电压和电流，研究电路的激励与响应之间关系，从而分析电路特性等，这是本课程所要讨论的内容；电路综合是根据要求给定电路特性，而后设计电路形式并计算电路元件参数，从而确定电路结构，这在电子技术及其有关课程中讨论。

本书是采用知识结构、单元结构及题材结构的形式编写的。书中带“*”内容表示是加深加宽的内容，或是随不同层次、不同专业而选学的内容。另外，考虑到本书的应用对象，还特别增加了电动机的部分内容。

全书共分十二章。康晓明同志编写了第六章谐振电路、第七章三相交流电路和第十一章磁路，康晓东同志编写了第八章非正弦周期电流电路、第九章动态电路的时域分析法、第十章二端口网络和第十二章电动机，康巨珍同志编写了第一章电路基本概念和基本定律、第二章电阻电路的等效变换、第三章网络分析一般

方法、第四章正弦交流电路和第五章互感电路。全书由康巨珍同志统稿。

本书在编写和出版过程中，得到了南开大学出版社胡晓清副编审的大力支持与帮助，在此深表谢意。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，诚望广大读者和有关专家批评指正。

编 者

1999 年 9 月

第一章 电路基本概念 和基本定律

本章主要研究电流，电压及其参考方向；电功率；电阻，电容和电感及其约束关系；电压源和电流源；受控源；基尔霍夫定律。

学习本章要求：正确理解并牢固掌握电流、电压参考方向概念；理解并掌握电功率 $P > 0$ 和 $P < 0$ 的意义；熟练掌握电阻、电容和电感三类元件的约束关系；理解并掌握电压源和电流源的特点；熟悉四种受控电源，掌握含受控源电路的计算；熟练掌握基尔霍夫定律的应用。

§ 1.1 电路及电路模型图

为了研究电路特性，了解和掌握电路的分析与计算方法，首先应建立电路的模型图。例如在手电筒里，按照要求装入干电池，合上开关后灯泡发光，关闭开关后灯泡熄灭。这个装有干电池的手电筒就是电路。其中干电池是一种电源，它是供给电路电能的；电灯泡是把电能转化成其他形式能量的一般用电设备，称为负载；电筒皮起导线的作用，联接电源、负载和开关。这种用导线把电源、负载和开关联接起来的装置称做电器系统。

电路就是从大量实际电器系统（如手电筒、机床电路、收录机等）中抽象出来的概念。电路又可概括为由不同元件与电源组

成的网络。通常把电路称为线路。

电路的主要作用是：(1) 转换能量，如电炉把电能转换成热能；电灯泡把电能转换成光能；电动机把电能转换成机械能；扬声器把电能转换成声能等。(2) 处理信号，如放大器把微弱信号放大，调谐电路从各种不同的信号源中，选出需要的信号等等。

电路根据其组成、性质和作用有各种不同的分类，但就电路是否满足线性关系而言，主要分为两类：一类是线性电路，它由线性元件组成，描述这类电路的数学方程是线性方程；另一类是非线性电路，组成这类电路的元件至少含有一个非线性元件，描述这类电路的数学方程为非线性方程。不论是线性电路还是非线性电路，虽然组成实际电路系统的元件形形色色、种类繁多，但从元件所反映的电路中的电磁现象来看，不外乎以下几种：(1) 消耗电能，例如电阻器、电炉等，称为“电阻元件”，用符号 R 表示；(2) 供给电能，如干电池，发电机等，称为“电源”，用符号 G 表示；(3) 储存电场能，如各种电容器等，用符号 C 表示；(4) 储存磁场能，如各种线圈等，用符号 L 表示。以上各类元件称为理想元件。

用这些理想元件组成的电路，称为实际电路的电路模型。工厂企业常用一些图形、符号来代替实际电器设备和器件，将其联接起来所构成的图称为电原理图。

R 、 L 、 C 为电路的基本元件，其根源要追溯到电路的基本变量。众所周知，构成电路的基本变量有电压 $u(t)$ ，电流 $i(t)$ ，电荷 $q(t)$ 和磁通链 $\psi(t)$ 。在这四个变量中， $u(t)$ 与 $\psi(t)$ ， $i(t)$ 与 $q(t)$ 分别遵循如下变化规律，即

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= \frac{d\psi(t)}{dt} \\ i(t) &= \frac{dq(t)}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式 (1.1) 表明, $u(t)$ 与 $\phi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 这四个变量并不都是独立的. 换句话说讲, $u(t)$ 与 $\phi(t)$ 、 $i(t)$ 与 $q(t)$ 两两分别为动态相关量.

若将以上四个变量中的每两个进行组合, 构成变量偶, 则四个变量有六种可能的组合形式, 如图 1.1 所示.

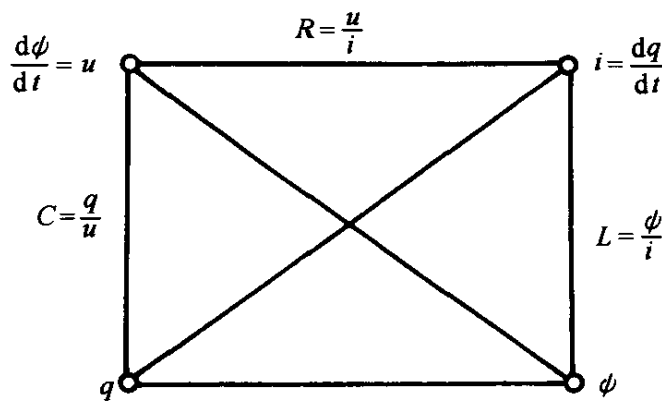


图 1.1

在这六种可能的组合形式中, 由于变量偶 (u, ϕ) 和 (i, q) 动态相关, 所以只有 (u, i) 、 (i, ϕ) 、 (u, q) 、 (ϕ, q) 为动态无关. 这四个变量偶的前三个, 分别表征了大家熟知的三类基本元件, 即电阻器 R 、电感器 L 和电容器 C 的特性. 根据完全类似的理由, 图 1.1 中 q 与 ϕ 也应代表一个确定的元件, 这就是第四类基本电路元件, 称做记忆电阻器, 用符号 m 表示. 对这类元件的性质虽然还没完全认识, 但可以断言它是存在的.

§ 1.2 电流参考方向及电压参考方向

在电路中, 自由电荷在电场力作用下, 按照一定秩序定向移动即形成电流. 导体中这种电流称为传导电流. 衡量电流强弱的物理量称为电流强度, 它表示单位时间内通过导体横截面的电

量。电流强度简称电流，用字母 i 或 I 表示。

当通过导体任一横截面的电流随时间变动时，称为变动电流，用小写字母 i 表示。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，简称直流，用大写字母 I 表示。直流电流 I 与电量 Q 的关系为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

式中， Q ：通过导体截面的电量，在国际（SI）单位制中，主单位是库仑，记作（C）；

t ：通电时间，单位秒（s）；

I ：电流强度，在国际（SI）单位制中，电流主单位是安培，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。实际电路中信号的变动方向通常有两种可能，如图 1.2（a）所示，即正电荷 q 从 A 流向 B ，或正电荷 q 从 B 流向 A 。我们把正电荷移动的方向称为电流的实际方向。电路中电流方向到底是从 A 流向 B ，还是从 B 流向 A 呢？一时很难判断出来。由于电流方向一时确定不下来，而分析计算电路又必须先知道电流方向，因此引入电流“参考方向”概念。

电流参考方向通常是任意指定的，用箭头表示，如图 1.2（b）所示。电流参考方向也可以用双下标表示，如电流从 A 流向 B ，可记为 i_{AB} 。

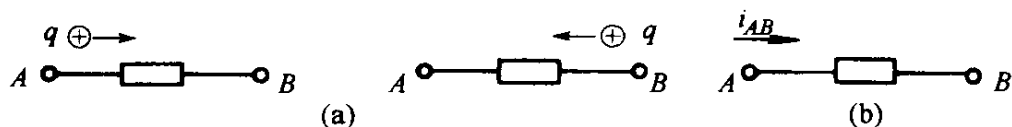


图 1.2

根据电流参考方向算出电流 i 值后，若 i 值大于零 ($i > 0$)，说明电流的参考方向和实际方向一致（即参考方向就是电流实际方向）；若 i 值小于零 ($i < 0$)，说明电流的参考方向和实际方向相反（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方向相同或不同而造成的，不规定电流的参考方向，电流的正负值也就没有意义了。若用实线表示电流的参考方向，虚线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 1.3 所示。

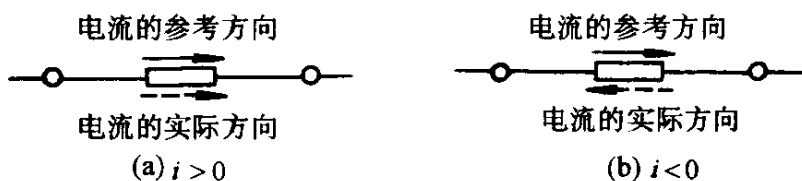


图 1.3

由物理学知，单位电荷 q 在电场力作用下从 A 点移动到 B 点，电场力所作的功称为电压，我们把电压从高电位指向低电位的方向，称为电压的实际方向。设电场力将电荷 Q 从 A 点移动到 B 点所作的功为 W_{AB} ，则

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1.3)$$

式中， W_{AB} 为电场力作的功，在 SI 制中，主单位焦耳，记作焦(J)； U_{AB} 为 A 、 B 两点间的电压，在 SI 制中，主单位伏特记作伏(V)。它表示电场力把 1 库仑电荷从 A 点移动到 B 点所作的功是 1 焦耳。比伏特小的单位是毫伏，比伏特大的单位是千伏，其

换算关系为

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

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

若取 O 点为参考点 (即 $\varphi_O = 0\text{V}$)，单位电荷 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。电位的单位和电压单位一样。

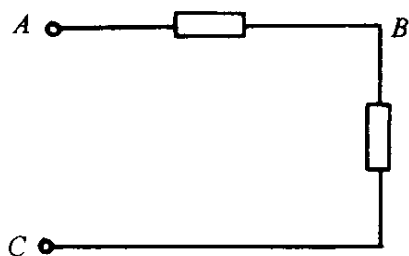


图 1.4

值得指出的是：电位数值与参考点的选择有关，而两点间的电压值与参考点的选择无关。如图 1.4 所示电路，若取 C 点为参考点，即 $\varphi_C = 0\text{V}$ ，测得 $\varphi_A = 8\text{V}$ ， $\varphi_B = 4\text{V}$ 。由电压定义知

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V}, \quad u_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

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

$$u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 4\text{V}, \quad u_{AC} = \varphi_A - \varphi_C = 8\text{V}$$

在电源内部，电源力把单位正电荷从低电位处移到高电位处所作的功称为电动势，用字母 e 或 E 表示。电动势的单位和电压单位一样，电动势的实际方向是从电源的负极指向正极。



图 1.5

电压的参考方向通常也是任意指定的。其标法从高电位到低电位，可用双下标表示，如 u_{AB} 或用“+”、“-”表示极性，也可用箭头表示（从高电位指向低电位），如图 1.5 所示。

对于任意一段电路，任意指定电压参考方向后计算出的电压值（如 u_{AB} ），若 $u_{AB} > 0$ ，说明参考方向和实际方向一致，如图 1.6 (a) 所示；若 $u_{AB} < 0$ ，说明参考方向和实际方向相反，如图 1.6 (b) 所示。

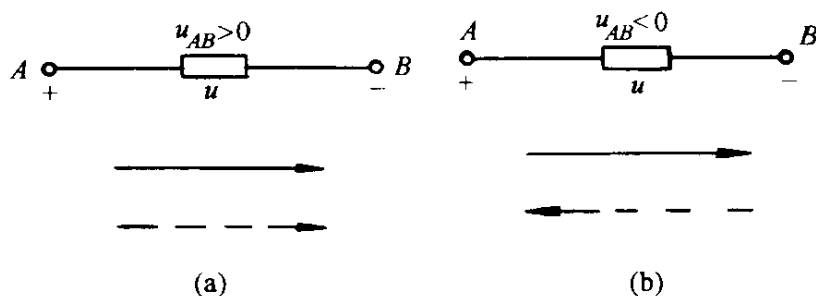


图 1.6

对于任意一段电路或一个元件，其上电压的参考方向与电流的参考方向可以独立地任意指定，若指定电流从该段电路（或元件）的电压正极端流入，并从负极端流出，即电路（或元件）的电压参考方向与电流参考方向一致，则称为关联参考方向，如图 1.7 (a) 所示；否则为非关联参考方向，如图 1.7 (b) 所示。



图 1.7

〔例 1.1〕 已知图 1.8 所示电路， $u_{BC} = 30\text{V}$ ， $\varphi_A = 80\text{V}$ ， $u_{CD} = 20\text{V}$ ，求 φ_D 和 u_{AB} 之值；并问 E 点电位如何？

解 (1) 由图 1.8 知， $\varphi_C = 0\text{V}$ ， $u_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 20\text{V}$ ，

故 $\varphi_D = -20\text{V}$

(2) 由 $u_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$ ，

故 $\varphi_B = u_{BC} + \varphi_C = 30\text{V}$

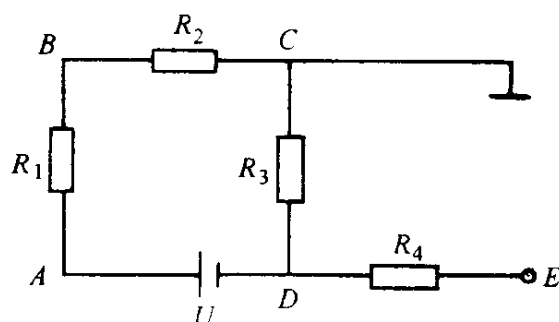


图 1.8

即 $u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 80 - 30 = 50\text{V}$

(3) 因为 E 点断开, R_4 上无电流通过, 所以 D 、 E 两点间电位相等, 即 $\varphi_E = \varphi_D = -20\text{V}$.

§ 1.3 电 功 率

我们知道, 当电流通过电路时, 伴随着要传递或转换电能, 电能量传递或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

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.5)$$

由电压定义 $u = \frac{dW}{dq}$, 所以电功率为

$$p = \frac{u dq}{dt} = ui \quad (1.6)$$

在国际 (SI) 单位制中, 电功 (电能) 主单位是焦耳, 记作焦 (J). 电功率主单位是瓦特, 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

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

$$1 \text{ 兆瓦 (MW)} = 10^6 \text{ 瓦 (W)}$$

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

电能的单位，实用上还常用千瓦小时 (kWh)，它表示功率为 1 千瓦的用电设备在 1 小时 (3 600 秒) 内所用的电能，简称一度电。

[例 1.2] 已知某实验室有 220V、40W 白炽灯 10 盏；220V、1 500W 电炉两个，同时接在 220V 电源上。试求：(1) 每个用电器上的电流值；(2) 总功率；(3) 在 2 小时内所用总电能为多少度。

解 (1) 设每盏白炽灯电流为 i_A 安，功率为 p_A 瓦，由公式知

$$i_A = \frac{p_A}{u} = \frac{40}{220} = 0.18\text{A}$$

设每个电炉电流为 i_B 安，功率 p_B 瓦，由公式知

$$i_B = \frac{p_B}{u} = \frac{1\,500}{220} = 6.28\text{A}$$

(2) 设总功率为 p 瓦，则

$$p = 10p_A + 2p_B = 10 \times 40 + 2 \times 1\,500 = 3\,400\text{W}$$

(3) 设总电能为 W 度，则

$$W = pt = 3\,400 \times 2 = 6\,800\text{Wh} = 6.8\text{kWh} = 6.8 (\text{度})$$

必须注意，对于任意一段电路，当用式 (1.6) 计算其功率时，如果这段电路的电压与通过该段电路的电流为关联参考方向时，则 $p = ui$ ；当为非关联参考方向时， $p = -ui$ 。当 p 为正值时表示这段电路吸收功率；当 p 为负值时表示这段电路发出功率。

[例 1.3] 已知如图 1.9 所示。试求该电路的功率，并判别该功率是吸收还是发出。

解 (a) 由图 1.9 (a) 所示电路， $i = 2\text{A}$ ， $u = 5\text{V}$ ，参考方向如图。该电路的电压、电流是关联参考方向，所以

$$p = ui = 5 \times 2 = 10\text{W}$$

又因为 $p = 10\text{W} > 0$

所以该电路是吸收功率。

(b) 由图 1.9 (b) 所示电路, $i = -3\text{A}$, $u = 6\text{V}$, 参考方向如图所示, 该电路的电压、电流是关联参考方向, 所以

$$p = ui = 6 \times (-3) = -18\text{W}$$

又因为 $p = -18\text{W} < 0$

所以该电路是发出功率。

(c) 由图 1.9 (c) 所示电路, $i = 3\text{A}$, $u = 5\text{V}$, 参考方向如图所示, 该电路的电压、电流是非关联参考方向, 所以

$$p = -ui = -5 \times 3 = -15\text{W}$$

又因为 $p = -15\text{W} < 0$

所以该电路是发出功率。

(d) 由图 1.9 (d) 所示电路, $i = 3\text{A}$, $u = -6\text{V}$, 参考方向如图所示, 该电路的电压、电流是非关联参考方向, 所以

$$p = -ui = -(-6) \times 3 = 18\text{W}$$

又因为 $p = 18\text{W} > 0$

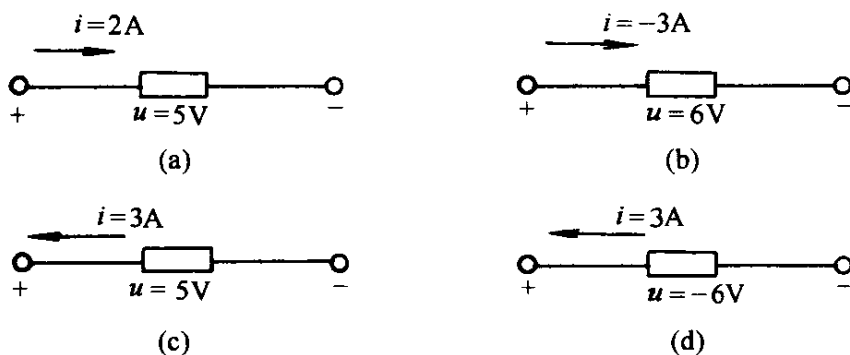


图 1.9

所以该电路是吸收功率。

根据式 (1.6) 分析一台发电机时, 若要发电机发出大的电功率, 除去要有大的电流外, 还必须有高的电压。但在实际中, 任何发电机输出的电压和电流都有一定限制, 因而电功率也有一

定限制。因为如果电流过大或者电压过高都会导致发电机损坏。其他电气设备也如此，所以电气设备都有一定的电压限额、电流限额和功率限额，这些限额分别称为电气设备的额定电压、额定电流和额定功率。使用时，不要超过这些额定值，以免损坏设备。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。例如对于电灯泡、电炉等通常只给出额定电压和额定功率，对于固定电阻，除阻值外，只给出额定功率等等。

练习题 已知图 1.10 所示电路中，各元件的电压值和电流值如表 1.1 所示，参考方向见图示。试求 (1) 各元件的功率值，并说明该功率是吸收还是发出；(2) 用虚线标出各元件的电压和电流的实际方向。

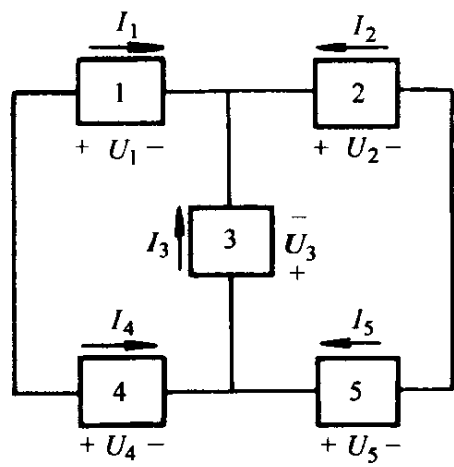


图 1.10

表 1.1

元件号	1	2	3	4	5
电压 u	5	2	2	3	4
电流 i	1	-3	2	-1	3
功率 p					

§ 1.4 电阻元件

电阻元件分为线性电阻元件与非线性电阻元件两类。

线性电阻元件是指通过元件的电流与元件两端的电压满足线性关系，或者说描述该元件的数学表达式为一次式。线性电阻元

件是一个二端理想元件，它是由实际元件抽象出来的数学模型，能够反映实际元件的主要电磁性质；在任何时候，线性电阻元件两端的电压，与通过它的电流的关系均服从欧姆定律。在电压与电流取关联参考方向时，欧姆定律可表达为

$$u = Ri \quad (1.7)$$

$$R = \frac{u}{i} \quad (1.8)$$

式 (1.7) 和式 (1.8) 中， R 为联系电阻上电压与电阻中电流的电气参数，并且与电压、电流无关。它是一常数，称为线性电阻。在国际 (SI) 单位制中，电阻的主单位是欧姆，记作欧 (Ω)。其图形符号如图 1.11 (a) 所示。

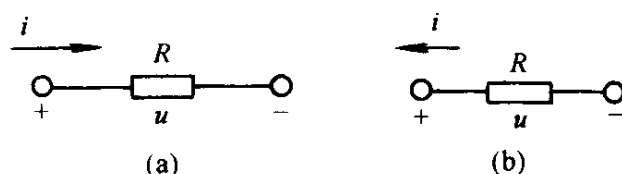


图 1.11

若令 $G = \frac{1}{R}$ ，则式 (1.7) 可改写为

$$i = Gu \quad (1.9)$$

式 (1.9) 中 G 称为电阻元件的电导，在国际 (SI) 单位制中，电导的主单位是西门子，记作西 (S)。

如果电阻元件上的电压与通过它的电流取非关联参考方向，如图 1.11 (b) 所示，则欧姆定律应写为

$$u = - Ri \quad (1.10)$$

或
$$i = - Gu \quad (1.11)$$

可见，公式必须与参考方向配套使用。

在直角坐标系中，取外加电压为横坐标（或纵坐标），通过电阻的电流为纵坐标（或横坐标），对于一系列的电压和电流值，