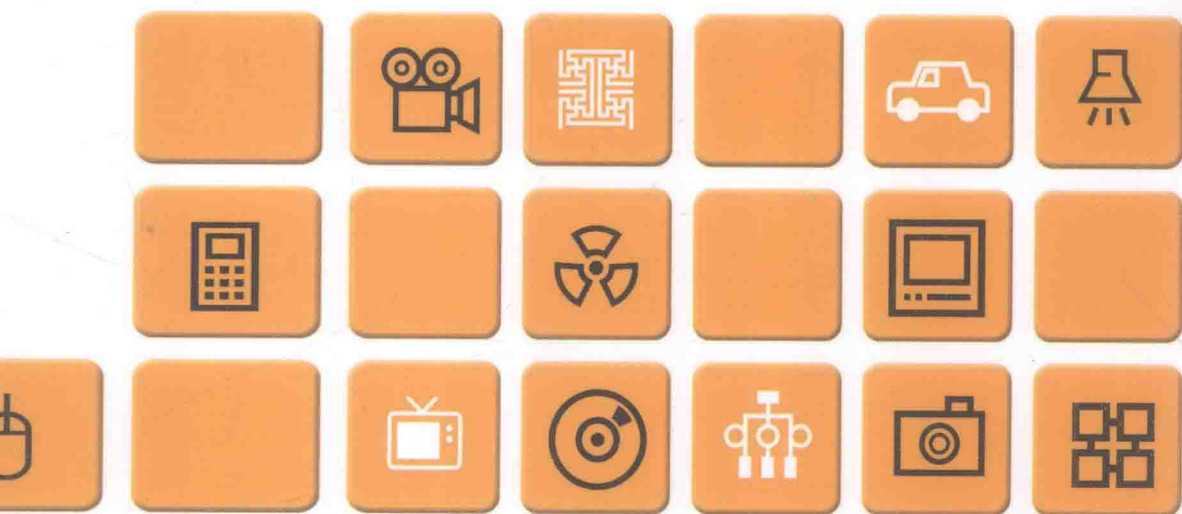




零起步电子电器维修技能

电工 初级技能

LING QI BU DIAN ZI DIAN QI WEI XIU JI NENG

宋海东◎主编



零起步电子电器维修技能

电工 初级技能

常州大学图书馆
藏书章

LING QI BU DIAN ZI DIAN QI WEI XIU JI NENG

宋海东◎主编

图书在版编目(CIP)数据

电工初级技能/宋海东. —北京:金城出版社,
2010.9

(零起步电子电器维修技能)

ISBN 978-7-80251-648-9

I. ①电 II. ①宋 III. ①电工-技术培训-
教材 IV. ①TN751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 174670 号

电工初级技能

作 者	宋海东
责任编辑	钱雨竹
开 本	710 毫米×1000 毫米 1/16
字 数	260 千字
印 张	12
版 次	2010 年 9 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
印 刷	河南旺高印务有限公司
书 号	ISBN 978-7-80251-648-9
定 价	19.80 元

出版发行	金城出版社北京朝阳区和平街 11 区 37 号楼 邮编:100013
发 行 部	(010)84254364
编 辑 部	(010)64222699
总 编 室	(010)64228516
网 址	http://www.jccb.com.cn
电子邮箱	jinchengchuban@163.com
法律顾问	陈鹰律师事务所 (010)64970501

前 言

近年来随着现代制造业技术、计算机技术和自动控制技术的迅速发展，电工技术中信息控制的含量越来越大，为了适应对电工技术的发展需要，本书以基础要求为依据，以“够用，实用”为尺度，对传统的内容进行了处理，精简了不少不必要的理论讲解与推导，主次分明详细的当。增加了更多现代化电器元件和电动机控制的新技术内容，更新了电路、电动机的控制实例，简明扼要的介绍编码器三相交流电等内容。

目 录

第一章 电路模型和电路变量	1
第一节 电路与电路变量	1
第二节 电路的主要物理量	7
第三节 电路基本元件	10
第四节 电压源和电流源及其等效变换	27
第五节 霍夫定律	36
第二章 电路的分析方法	43
第一节 正弦交流电的基本概念	43
第二节 正弦量的相量表示法	54
第三节 单一参数电路的分析	56
第四节 正弦稳态电路的功率	58
第三章 磁路与变压器	71
第一节 磁场的磁路定律与基本物理量	71
第二节 磁路的概念、类型及基本定律	76
第三节 交流铁心线圈与电磁铁	81
第四节 变压器的分类、结构及工作原理	86
第五节 变压器的运用及使用问题	94
第四章 异步电动机	101
第一节 三相异步电动机的结构	101
第二节 三相异步电动机的工作原理	103
第三节 三相异步电动机的电路分析	108
第四节 三相异步电动机的转矩与机械特性	111
第五节 三相异步电动机的起动、制动和调速	115
第六节 三相异步电动机的制动	119
第七节 三相异步电动机的型号和技术数据	122
第八节 单相异步电动机	124
第五章 直流电动机	127

第一节 电动机的选择	127
第二节 直流电动机及其控制	134
第三节 直流电动机的启动、调速和制动	137
第四节 直流电的机械特性	144
第六章 电气控制	150
第一节 低压控制电器	150
第二节 继电—接触器控制电路	156
第七章 供电与安全用电	165
第一节 供配电系统	165
第二节 触电急救与防护措施	171
第三节 电气防火与防爆	178
第四节 供电线路故障检修	183

第一章 电路模型和电路变量

第一节 电路与电路变量

电流流过的回路叫做电路，又称导电回路。最简单的电路，是由电源、负载、导线、开关等元器件组成。电路导通叫做通路。只有通路，电路中才有电流通过。电路某一处断开叫做断路或者开路。电路某一部分的两端直接接通，使这部分的电压变成零，叫做短路。开路（或断路）是允许的，而短路决不允许，因为短路会导致电源被烧坏。

电路可分为：

模拟电路

- 是由自然界产生周期性变化的连续性的物理自然变量，在将连续性物理自然变量转换为连续的电信号，并通过运算连续性电信号的电路即称为模拟电路。

- 模拟电路对电信号的连续性电压、电流进行处理。

最典型的模拟电路应用包括：放大电路、振荡电路、线性运算电路（加法、减法、乘法、除法、微分和积分电路）。运算连续性电信号。

数字电路

- 亦称为逻辑电路

- 将连续性的电信号，转换为不连续性定量的电信号，并运算不连续性定量电信号的电路，称为数字电路。

- 数字电路中，信号大小为不连续并定量化的电压状态。

多数采用布尔代数逻辑电路对定量后信号进行处理。典型数字电路有，振荡器、寄存器、加法器、减法等。运算不连续性定量电信号。

集成电路

- 集成电路亦称为 IC（Integrated Circuit）。

- 运用集成电路设计程式（IC 设计），将一般电路设计到半导体材料里的半导体电路（一般为硅片），称为积体电路。
- 利用半导体技术制造出集成

电路（IC）。

电路的组成：

电路由电源，负载，连接导线和辅助设备四大部分组成。实际应用的电路都比较复杂，因此，为了便于分析电路的实质，通常用符号表示组成电路实际原件及其连接线，即画成所谓电路图。其中导线和辅助设备合称为中间环节。

1. 电源

电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能。例如，电池是把化学能转变成电能；发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多，转变成电能的方式也很多，所以，目前实用的电源类型也很多，最常用的电源是固态电池、蓄电池和发电机等。

2. 负载（就是课本中提到的“用电器”）

在电路中使用电能的各种设备统称为负载。负载的功能是把电能转变为其他形式能。例如，电炉把电能转变为热能；电动机把电能转变为机械能，等等。通常使用的照明器具、家用电器、机床等都可称为负载。

3. 导线

连接导线用来把电源、负载和其他辅助设备连接成一个闭合回路，起着传输电能的作用。

4. 辅助设备

辅助设备是用来实现对电路的控制、分配、保护及测量等作用的。辅助设备包括各种开关、熔断器及测量仪表等。

电路和电路变量

电路的基本概念

1. 电路

电路是由电气设备和电路元器件通过各种方式相互连接并提供电流通过途径的系统。电路的结构和所能完成的任务是多种多样的，简单的电路如手电筒电路，复杂的电路如电力系统、电子系统、电气控制系统等。

电路可分为线性电路和非线性电路，线性电路仅由线性元件组成，而非线性电路中至少含有一个非线性元件。线性电路最基本的特性是具有叠加性和均匀性。

2. 电路的作用

（1）实现电能的传输、转换及分配 例如电力系统，其电力系统示意图

如图 1-1 所示,电路的主要作用是将发电机提供的电能传输和分配到各用电设备。

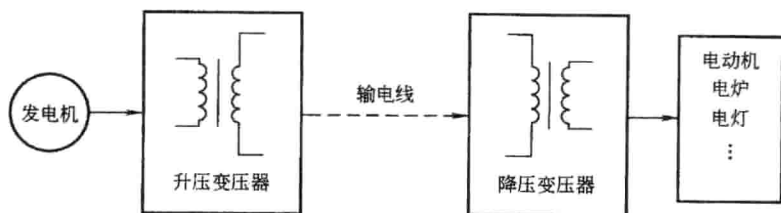


图 1-1 电力系统示意图

发电机 是电源,是提供电能的设备,其功能是把热能、水能或核能等转换成电能。

变压器和输电线的功能是实现电能的分配和传输。

电动机、电炉、电灯等用电设备统称为负载,其功能是把电能转换成为机械能、热能和光能等。

(2) 实现信号的传递和处理信号传递和处理的例子很多,如移动电话、计算机、电视机等,它们把载有语言、文字、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,然后通过电子电路对信号进行传递和处理,还原为原始信息输出到扬声器、显示器等。

电路变量

电路变量是用来对电路模型进行描述的,电路分析任务则是计算出特定的电路变量,进而了解电路的特性和技术指标。在电路分析中主要分析可实际测量的变量——电压和电流,通过电压和电流变量可计算出电路模型中的其他物理量,如功率、电路元件参数等,因此,电压和电流又称为电路的基本变量。

1. 电压

电压的物理意义是电荷在电路中移动时所获得或失去的能量。即一定量的正电荷 dq 从电路中 a 点移动到 b 点时,能够放出的能量为 dw ,则电路中 a 、 b 两点间的电压 u 定义为

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

式中,电压的单位为伏特(V)。

在电路分析中常用电位来表示电压,即任意两点间的电位之差称为电压。

电路中的电位是相对某个参考点而定义的电压,如图1-6所示。图中有3个电路模型 N_1 、 N_2 、 N_3 , 设O点为参考点, a点的电位为 u_a , b点的电位为 u_b , 则a、b两点间的电压 u_{ab} 为

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

在实际电路中, 参考点通常选为大地、设备机壳或某一个公共连接点。在电路分析中, 可任意选择电路中的某一点为参考点, 并设定参考点的电位为零。因此, 电路中各点的电位值与所选定的参考点有关, 但任意两点间的电压则与参考点的选择无关。例如, 图1-2中的参考点改选为b点, 如图1-3所示, 这时b点的电位为零, O点的电位为 u_o , a点的电位等于a、b两点间的电压

$$u_{ab} = u_a - u_b = u_a$$

由于图1-2与图1-3所选择的参考点不同, 同一点的电位则不同, 但两点间的电压是唯一的。

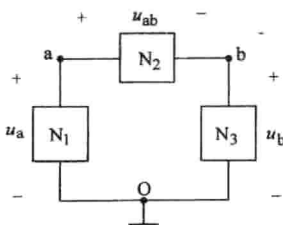


图1-2 电压与电位

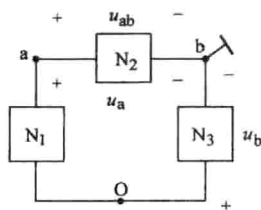


图1-3 参考点、电位与电压

在电路分析中定义的电压相当于物理学中的电势降落。因此, 电压的方向定义为由高电位端指向低电位端, 高电位端用“+”、低电位端用“-”符号表示, 也可以用双下标或箭头表示电压的参考方向, 如图1-4所示, 说明负载上相同电压极性的三种表示方式。

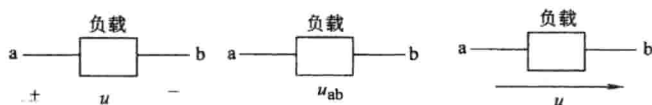


图1-4 电压方向的表示方式

在复杂电路分析计算前, 电压的实际方向很难判断, 这时必须假定电压的方向, 即电压的参考方向(参考极性)。具有参考方向电压的数学表示才有物理意义。根据参考方向计算出电压的数值, 如果是正值, 说明该段电路电压的参考方向与实际方向相同; 如果是负值, 则表明该段电路电压的参考方

向与实际方向相反。电路中电压的参考方向是任意假设的。

注意：电动势 E 的参考方向是在电源内部由低电位端指向高电位端，即为电位升高的方向。

2. 电流

电流的物理意义是电荷质点的运动。即单位时间内通过导体横截面积的电量定义为电流 i ，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

式中，电流的单位为安培（A）。

在工程上规定正电荷移动的方向为电流方向。在电路模型中，电流方向有两种表示方式：箭头或双下标，如图 1-5 所示，即电流方向为从 a 到 b。

在复杂电路分析中，由于电流的实际方向很难确定，常用参考方向来表示电流的方向。即在分析计算复杂电路之前，先假定电流的方向（称为参考方向），再根据电流参考方向计算出电流的数值。如果电流值为正值，说明电流的参考方向与实际方向相同；为负值则说明电流的参考方向与实际方向相反。注意，电流的参考方向是任意假设的

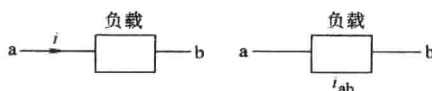


图 1-5 电流方向的表示方式

电流按其大小与方向是否随时间而变可分为三种电流：

1) **直流电流**。电流的大小、方向都不随时间发生变化。用大写的英文字母 I 表示。如图 1-6a 所示。测量仪表上标志为 DC（直流电流表）。

2) **脉动电流**。电流的大小随时间发生变化，而方向不变。用小写的英文字母 i 表示。如图 1-10b 所示。脉动电流电路的分析在模拟电子技术中讨论。

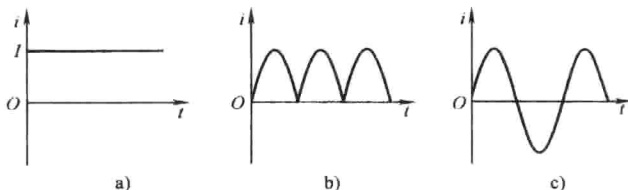


图 1-6 电流的分类

a) 直流电流 b) 脉动电流 c) 正弦交流电流

3) 交流电流。电流的大小、方向都随时间发生变化。用小写的英文字母 i 或 $i(t)$ 表示。本教材主要讨论正弦交流电流, 如图 1-10c 所示。测量正弦交流电流的仪表标志 AC (交流电流表)。

3. 功率和能量

在电路分析时, 经常分析电路中的能量和功率的分布和转移。因此, 功率和能量是电路中的两个重要的物理量。功率定义为单位时间内所转换的电能, 用 p 表示。功率 p 与能量 w 的关系如下所示:

$$p(t) = \frac{dw}{dt}$$

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau \quad (1-3)$$

式中, 功率的单位为瓦特 (W); 能量的单位为焦耳 (J)。

在元件功率分析中, 设元件上的电压与电流的参考方向, 即电流从电压的正极流到负极, 元件所吸收的能量为

$dw = u(t) dq$ 则该元件吸收的功率为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = u(t) \frac{dq}{dt} = u(t) i(t) \quad (1-4)$$

式 (1-4) 是通过元件的端电压和流过电流的乘积来定义功率。对于计算出的值是吸收 (输入) 功率还是提供 (输出) 功率, 可直接根据电压和电流的实际方向来确定。当电流从电压的正极流到负极时 (注意是实际方向), 元件吸收功率, 或者说元件是负载; 当电流从电压的负极流到正极时, 元件提供功率, 或者说元件是电源。根据功率计算表达式直接判断功率的方向 (吸收、提供), 将在参考方向一节中讨论。

本书对各变量讨论时均采用国际单位制的基本单位, 国际常用词冠见表 1-1。

表 1-1 国际常用词冠

词 冠	符 号		因子
	中 文	国 际	
giga	吉	G	10^9
mega	兆	M	10^6
kilo	千	k	10^3
milli	毫	m	10^{-3}

micro	微	μ	10^{-6}
nano	纳	n	10^{-9}
pico	皮	p	10^{-12}

第二节 电路的主要物理量

一、电流

1. 电流的定义

在电场的作用下, 电荷有规则的定向移动就形成电流。当电荷做规则的定向运动时, 我们虽然看不见, 但可以感觉到电流的存在。例如: 电灯的亮灭, 电动机的起动和停止。

2. 电流的大小

电流的大小以单位时间内通过导体横截面的电荷量来衡量, 用 i 表示。

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

如果电流不随时间变化, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 则这种电流称为恒定电流, 简称直流 (DC)。当电压、电流不随时间变化时, 可用大写字母如 U 、 I 表示, 一般称作直流电压、直流电流。电流的单位有安培 (A)、千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA), 它们的换算关系为

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

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

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

3. 电流的方向

电流不仅有大小而且有方向, 我们规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在简单电路中, 电流的实际方向容易判断, 但在复杂电路中, 往往很难判断某支路中电流的实际方向。为此, 在进行电路分析与计算前, 需要假定某一方向作为电流的正方向, 称为参考方向, 并用箭头表示。需要注意的是所选的电流参考方向是任意设定的, 与电流的实际方向无关。当选定了电流的参考方向后便可以进行分析计算, 当电流实际方向与参考方向一致时, 计算出来的电流值为正; 如果两者相反, 则电流值为负。

二、电压

1. 电压的定义

电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功定义为 a、b 两点间的电压，用 u_{ab} (U_{ab}) 表示。

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

2. 电压的单位

在国际单位制中，规定电场力把 1C 的正电荷从电场内一点移动到另一点所做的功为 1J 时，该两点间的电压为 1V。就是说，电场力将 1C 的正电荷从电场内一点移动到另一点做多少焦耳的功，则这两点间的电压就为多少伏。电压的单位有伏 (V)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV)，它们的换算关系为

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

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

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

三、电位

1. 电位的定义

在电路中选定一个参考点（注意每次计算只能选一个相对的参考点），取参考点的电位为零电位，则电路中某一点与参考点之间的电压就被称为这一点的电位。

电位的单位与电压相同，用伏 (V) 表示。

如图 1-14 电路中，选择 O 为参考点，可求出电路中 A 点电位为 $V_A = U_{AO} = 1\text{V}$

B 点电位为 $V_B = U_{BO} = -2\text{V}$

四、电动势

电动势是衡量外力即非电场力做功能力的物理量，电动势越大，电源的能力越强。外力克服电场力把单位正电荷从电源的负极 (b 点) 搬运到正极 (a 点) 所做的功，称为 a 与 b 两点间的电动势，用 e (E) 表示，即

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

得到电动势的方法多种多样，例如在发电机中，通过外力（由原动机如内燃机、水轮机、气轮机提供）推动发电机转子切割磁力线产生电动势；在

电池中,由电极与电解液接触处的化学反应而产生电动势。外力克服电场力做功,就把非电能转化为电荷的电能,电荷在电源中得到能量,再通过电路提供给负载。

在电源内部,电动势的实际方向是正电荷所受外力的方向,因此是从低电位指向高电位。而电压的实际方向是正电荷所受电场力的方向,所以是从高电位指向低电位,就是说,在电源内部,电动势与电压方向相反。电动势的单位与电压相同,也用伏(V)表示。

五、电能和电功率

在电路的分析和计算中,电能和电功率的计算是十分重要的。原因有两个:一方面,电路在工作时总伴随着各种形式能量的相互转换;另一方面,用电设备和线路连接件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值,发生过载会使电路不能正常工作,甚至造成设备或部件损坏。

当正电荷从“+”极经过元件移动到“-”极时,电场力要对电荷做功,这时元件吸收能量,此元件可看作是负载,如电阻等;反之,正电荷从“-”极经过元件移动到“+”极时,外力做功,电场力做负功,这时元件对外释放电能,此元件可看作电源,如电池等。

从 t_0 到 t 的时间内,从 a 到 b 点电路元件吸收的电能可根据电压的定义(a 、 b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功)求得,即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u dq$$

由于 $i = \frac{dq}{dt}$,因此

$$W = \int_{t_0}^t u(t) i(t) dt$$

电路消耗(或吸收)的功率 P 等于单位时间内电路消耗(或吸收)的能量。即

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

在国际单位制中,功率的单位为瓦特(Watt),简称瓦(W)。

对直流电路,电流、电压均为恒定值,在时间 $0 \sim t$ 内电路消耗的电能以及电路的功率为

$$W = UQ = UIt$$

$$P = UI$$

对电阻负载，功率的计算公式变为

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-10)$$

在关联参考方向下，电路中的功率有以下几种情况：

- 1) $P > 0$ ，说明该段电路消耗或吸收功率为 P 。
- 2) $P = 0$ ，说明该段电路不消耗功率。
- 3) $P < 0$ ，说明该段电路提供或发出功率为 P 。

第三节 电路基本元件

电路元件（理想化线性元件）是电路分析中最基本的组成单元。每一种元件都有唯一对应的物理特性和电路符号。在分析电路元件时，关心的是元件外部特性，即 $u-i$ 关系、 $q-u$ 关系、 $\psi-i$ 关系，并用数学公式和特性曲线两种方式描述电路元件的特性。

电路元件按其特性可分为有源元件和无源元件两种。如果一个元件在任何时刻的物理效应表征为吸收能量，称该元件为无源元件，否则为有源元件。无源元件主要有电阻、电感和电容元件，其中电阻元件为耗能元件，电感和电容元件为储能元件。有源元件主要有独立电源和受控电源元件。

下面根据电路基本元件特性讨论各元件上电压和电流的约束关系。

电阻元件 R

在任意时刻，能用 $u-i$ 平面上一条曲线来描述外部特性的元件称为电阻元件。它是一种反映消耗电能转换成其他形式能量物理特征的电路模型。

线性电阻元件电路符号、电压和电流参考方向如图 1-6a 所示，特性曲线如图 1-6b 所示，即特性曲线在 $u-i$ 平面上任意时刻 t 都是过原点的直线。

在电阻元件两端电压与电流为关联参考方向时，电阻元件的欧姆定律为

$$u = Ri \quad (1-5)$$

式中， R 为线性电阻，是一个正实常数，单位为欧姆（ Ω ）。

下面线性电阻元件简称电阻。

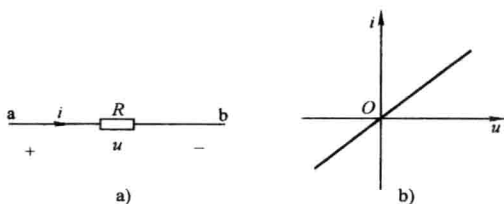


图 1-6 线性电阻元件

电阻元件及关联参考方向 b) 线性电阻的伏安特性

令 $G = \frac{1}{R}$, 则

$$i = Gu \quad (1-6)$$

式中, G 为电阻元件的电导, 单位为西门子 (S)。

R 和 G 都是电阻元件的参数。

欧姆定律表明: 电阻元件上某时刻的端电压 u 由该时刻电流 i 确定, 而与过去的电流值大小无关。即 $u = Ri$, 称电阻 R 为“无记忆”的元件。

如果一个电阻元件的端电压不为零值时, 而流过它的电流恒为零值, 则这时电阻值为无穷大, 即 $R = \infty$, 称电阻 R 为开路。

如果流过一个电阻元件的电流不为零值时, 而元件的端电压恒为零值, 则 $R = 0$, 称电阻 R 为短路。

在电压和电流的关联参考方向下, 电阻元件吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

因为电阻 R 是正值, 所以电阻 R 吸收的功率总是大于零, 则说明电阻元件是耗能元件。

注意: 当电阻 R 端电压和电流为非关联参考方向时, 如图 1-7 所示, 电阻 R 元件上的电压与电流的数学表达式为

$$u = -Ri$$

例 1-2 电路如图 1-8 所示, 已知 $R = 4\Omega$, $U = 8V$, 求电流 I 和功率。

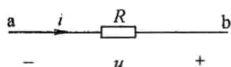


图 1-7 电阻元件及非关联参考方向

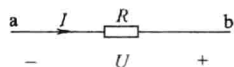


图 1-8 例 1-2 图

解

$$I = \frac{U}{R} = \left(-\frac{8}{4} \right) A = -2A$$

$$P = -UI = [-8 \times (-2)] W = 16W$$