

# 电 工 基 础

赵忠仁  
张秀珍

主编

中国广播电视出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

电工基础/赵忠仁,张秀珍主编. —北京:中国广播电视出版社,1992.4(1998.1重印)

ISBN 7-5043-1418-8

I. 电… II. ①赵… ②张… III. 电工-理论-专业学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00833 号

**中国广播电视出版社出版发行**

(北京复外真武庙二条 9 号 邮政编码:100866)

河北省地矿局地质六队美术胶印厂

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开 33.5 印张 788(千)字

1992 年 4 月第 1 版 1998 年 1 月第 3 次印刷

印数:13601—16600 册 定价:43.00 元

## 出版者的话

为了适应广播电视中专教育事业发展的需要,不断提高教材质量,广播电影电视部教育司和各广播电视中专课程组,在对第一轮中专工科教材修订的基础上,组织力量编写了第二轮广播电视中专工科教材,由中国广播电视出版社出版,并公开发行。这批规划出版的专业基础课教材有:《电子线路》、《电工基础》、《无线电技术基础》、《无线电测量》、《微型计算机原理及应用》、《脉冲与数字电路》、《电视原理》,共计7种。专业课教材有:《电波与天线》、《发送设备》(含广、电、调)、《广播播控设备》(含广播声学、有线广播、录音设备)、《电视播控设备》(含摄像)、《电视接收设备》、《数字通信》、《微波技术》、《录音录像技术》,共计8种。在教材编写过程中,力求做到立论正确,概念清楚,理论联系实际。

这批教材仍暂作试用教材,适于招收初中毕业生、学制为四年的学校使用。鉴于目前各学校招生对象和学制不尽相同,各校可根据教学大纲的要求选用有关内容。设有相近专业的其它中等专业学校和职业高中也可选用本教材。

这批教材还可以作为干部培训的中级教材和职工自学参考书之用,也可以供具有高中文化程度和一定无线电基础知识的读者阅读。我们殷切希望广大读者对本教材提出意见和建议,帮助我们做好教材出版工作。

# 前 言

本教材分两篇14章。第一篇主要内容为电阻电路，动态电路，磁路，非正弦周期信号电路的基本分析方法；第二篇主要内容为静电场，稳恒电流，稳恒磁场和麦克斯韦方程组等基本概念及其定律。

《电工基础》是一门专业技术基础课，内容丰富，涉及面宽。掌握这门课对生产实践和后续课程的学习是至关重要的。为此，在编写过程中，力求做到概念、定理和定律的叙述清楚准确；重点章节适当的增加了例题和习题；每章后面附小结和习题。

本教材授课时数为180学时。由于不同专业对《电工基础》课程内容要求有所不同，根据需要，对某些内容可做适当删减。第二篇电磁场理论供非微波技术专业使用。

参加本教材编写工作的同志有：第一篇由沈兵虎（第一、二章），赵忠仁（第三、四章），曹芹（第五、八章），张秀珍（第六章），李延福（第七章），南易（第九章），冯玉玲（第十章）编写；第二篇由赵忠仁编写。主编赵忠仁、张秀珍。由于编者水平有限，错误和不当之处在所难免，请广大读者提出宝贵意见。

编 者

1990年12月

# 目 录

## 第一篇 电路分析基础

### 第一章 电路的基本定律和简单电路分析

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| § 1-1 电路和电路模型 .....      | ( 1 )  |
| § 1-2 电流、电压和功率 .....     | ( 2 )  |
| § 1-3 欧姆定律、电阻和电导 .....   | ( 7 )  |
| § 1-4 电压源 .....          | ( 10 ) |
| § 1-5 基尔霍夫定律 .....       | ( 12 ) |
| § 1-6 电阻的串联和并联电路 .....   | ( 18 ) |
| § 1-7 电路中各点电位的计算 .....   | ( 28 ) |
| § 1-8 电流源 .....          | ( 32 ) |
| § 1-9 电压源与电流源的等效变换 ..... | ( 35 ) |
| § 1-10 受控源 .....         | ( 39 ) |
| § 1-11 负载获得最大功率的条件 ..... | ( 43 ) |
| 本章小结 .....               | ( 45 ) |
| 习题 .....                 | ( 48 ) |

### 第二章 线性网络的分析方法和定理

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| § 2-1 支路电流法 .....                | ( 55 ) |
| § 2-2 回路电流法 .....                | ( 59 ) |
| § 2-3 节点电位法 .....                | ( 64 ) |
| § 2-4 迭加定理 .....                 | ( 68 ) |
| § 2-5 戴维南定理和诺顿定理 .....           | ( 72 ) |
| § 2-6 替代定理 .....                 | ( 82 ) |
| § 2-7 互易定理 .....                 | ( 82 ) |
| § 2-8 T型网络与 $\pi$ 型网络的等效变换 ..... | ( 86 ) |
| 本章小结 .....                       | ( 90 ) |
| 习题 .....                         | ( 91 ) |

### 第三章 电容元件和电感元件

|                  |        |
|------------------|--------|
| § 3-1 电容元件 ..... | ( 98 ) |
|------------------|--------|

|                      |       |
|----------------------|-------|
| § 3-2 电容的伏安关系 .....  | (99)  |
| § 3-3 电容的功率和储能 ..... | (102) |
| § 3-4 电容的串联和并联 ..... | (103) |
| § 3-5 电感元件 .....     | (107) |
| § 3-6 电感的伏安关系 .....  | (108) |
| § 3-7 电感的功率和储能 ..... | (112) |
| 本章小结 .....           | (113) |
| 习题 .....             | (115) |

#### 第四章 正弦交流电路

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| § 4-1 交流电的基本概念 .....                   | (119) |
| § 4-2 正弦交流电 .....                      | (120) |
| § 4-3 正弦交流电的有效值和平均值 .....              | (125) |
| § 4-4 纯电阻电路 .....                      | (128) |
| § 4-5 纯电感电路 .....                      | (131) |
| § 4-6 纯电容电路 .....                      | (134) |
| § 4-7 复数和复数的运算法则 .....                 | (138) |
| § 4-8 正弦交流电的相量表示法 .....                | (145) |
| § 4-9 欧姆定律和基尔霍夫定律的相量形式 .....           | (153) |
| § 4-10 $RL$ 串联电路 .....                 | (156) |
| § 4-11 $RC$ 串联电路 .....                 | (159) |
| § 4-12 $RLC$ 串联电路 .....                | (162) |
| § 4-13 $RLC$ 并联电路 .....                | (167) |
| § 4-14 阻抗与导纳的等效互换 .....                | (172) |
| § 4-15 阻抗与导纳的串并联电路 .....               | (176) |
| § 4-16 线性网络的分析方法和网络定理在正弦交流电路中的推广 ..... | (180) |
| § 4-17 正弦交流电路的功率 .....                 | (184) |
| § 4-18 负载获得最大功率的条件 .....               | (190) |
| § 4-19 交流电路的实际部件 .....                 | (194) |
| § 4-20 交流电桥 .....                      | (196) |
| § 4-21 趋肤效应 .....                      | (199) |
| 本章小结 .....                             | (200) |
| 习题 .....                               | (203) |

#### 第五章 互感耦合电路

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| § 5-1 互感系数和耦合系数 .....   | (213) |
| § 5-2 互感电压与线圈的同名端 ..... | (215) |
| § 5-3 互感消除法 .....       | (219) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| § 5-4 互感线圈的串联和并联 .....   | (221) |
| § 5-5 具有互感的正弦电路的计算 ..... | (225) |
| § 5-6 空芯变压器 .....        | (227) |
| 本章小结.....                | (233) |
| 习题.....                  | (233) |

## 第六章 三相电路

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| § 6-1 三相交流电 .....     | (237) |
| § 6-2 三相电源的接法 .....   | (238) |
| § 6-3 三相负载的接法 .....   | (241) |
| § 6-4 三相电路的功率 .....   | (252) |
| § 6-5 保护接地与保护接零 ..... | (254) |
| 本章小结.....             | (256) |
| 习题.....               | (257) |

## 第七章 磁路

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| § 7-1 磁场的基本物理量 .....  | (260) |
| § 7-2 全电流定律及其应用 ..... | (264) |
| § 7-3 铁磁物质的磁化 .....   | (267) |
| § 7-4 磁路及其计算 .....    | (277) |
| § 7-5 磁屏蔽 .....       | (282) |
| 本章小结.....             | (283) |
| 习题.....               | (284) |

## 第八章 变压器

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| § 8-1 变压器的构造和工作原理 ..... | (287) |
| § 8-2 理想变压器 .....       | (289) |
| § 8-3 全耦合变压器 .....      | (294) |
| § 8-4 实际变压器 .....       | (297) |
| § 8-5 变压器的频率特性 .....    | (303) |
| § 8-6 自耦变压器 .....       | (304) |
| 本章小结.....               | (305) |
| 习题.....                 | (306) |
| 〔附录〕 小功率电源变压器的设计.....   | (308) |

## 第九章 非正弦周期信号电路

|                        |       |
|------------------------|-------|
| § 9-1 非正弦周期信号 .....    | (316) |
| § 9-2 非正弦周期信号的分析 ..... | (318) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| § 9-3 非正弦周期信号的有效值和平均值 ..... | (325) |
| § 9-4 非正弦周期信号电路的平均功率 .....  | (327) |
| § 9-5 非正弦周期信号作用于线性电路 .....  | (329) |
| 本章小结 .....                  | (331) |
| 习题 .....                    | (332) |

## 第十章 线性电路的过渡过程

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| § 10-1 过渡过程的产生及换路定律 .....       | (335) |
| § 10-2 一阶电路的零输入响应 .....         | (339) |
| § 10-3 一阶电路对恒定激励的零状态响应 .....    | (346) |
| § 10-4 一阶电路的全响应 .....           | (354) |
| § 10-5 一阶电路的三要素法 .....          | (358) |
| § 10-6 一阶电路对正弦激励的响应 .....       | (363) |
| § 10-7 微分电路和积分电路 .....          | (371) |
| § 10-8 LC电路中的自由振荡 .....         | (375) |
| § 10-9 RLC串联电路的零输入响应 .....      | (378) |
| § 10-10 RLC串联电路在恒定输入下的全响应 ..... | (386) |
| § 10-11 运算法的数学基础——拉氏变换 .....    | (389) |
| § 10-12 运算法求解电路 .....           | (398) |
| 本章小结 .....                      | (407) |
| 习题 .....                        | (411) |

## 第二篇 电磁场理论基础

### 第一章 静电场

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| § 1-1 库仑定律 .....          | (417) |
| § 1-2 电场 电场强度 .....       | (420) |
| § 1-3 电力线 电通量 高斯定理 .....  | (427) |
| § 1-4 静电场力的功 电位 .....     | (434) |
| § 1-5 等位面 电场强度和电位关系 ..... | (440) |
| § 1-6 静电场中的电介质 .....      | (445) |
| § 1-7 电介质中的静电场 电位移 .....  | (448) |
| § 1-8 电场的能量和能量密度 .....    | (452) |
| § 1-9 电场的边界条件 .....       | (454) |
| 本章小结 .....                | (456) |
| 习题 .....                  | (458) |



## 第二章 稳恒电流

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| § 2-1 电流密度矢量 .....    | (461) |
| § 2-2 电流连续性方程 .....   | (462) |
| § 2-3 欧姆定律的微分形式 ..... | (464) |
| § 2-4 焦耳定律的微分形式 ..... | (465) |
| § 2-5 电动势 .....       | (466) |
| 本章小结 .....            | (467) |
| 习题 .....              | (468) |

## 第三章 稳恒磁场

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| § 3-1 磁场 磁感应强度 .....          | (470) |
| § 3-2 磁场中的高斯定理 .....          | (472) |
| § 3-3 毕奥—萨伐尔定理 .....          | (474) |
| § 3-4 安培环路定理 .....            | (478) |
| § 3-5 带电粒子在磁场中的运动 .....       | (483) |
| § 3-6 磁介质 磁化强度 .....          | (487) |
| § 3-7 磁介质中磁场高斯定理和安培环路定理 ..... | (491) |
| § 3-8 磁场的边界条件 .....           | (496) |
| 本章小结 .....                    | (497) |
| 习题 .....                      | (499) |

## 第四章 电磁感应

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| § 4-1 电磁感应定律 .....       | (505) |
| § 4-2 感应电场 .....         | (509) |
| § 4-3 位移电流 感应磁场 .....    | (511) |
| § 4-4 麦克斯韦方程组的积分形式 ..... | (516) |
| § 4-5 麦克斯韦方程的微分形式 .....  | (519) |
| 本章小结 .....               | (522) |
| 习题 .....                 | (523) |

# 第一篇 电路分析基础

## 第一章 电路的基本定律和简单电路分析

本章介绍电流、电压和功率的基本概念，同时引进电流、电压正方向等重要概念。主要阐述电路的两个基本定律，即欧姆定律和基尔霍夫定律。此外介绍理想电路元件，电压源、电流源和受控源，并对电阻串、并联电路以及实际电源模型等效变换进行了分析和计算。

本章（以及第二章）虽然以直流电路为研究对象，但这里所提出的分析方法和一些定律，原则上也适用于其它各种电路。它们是分析和计算电路的重要理论基础。

### § 1-1 电路和电路模型

凡是一些电工部件以任意方式联接成的总体都称为电路。通常电路提供电流的通路。在电路中，随着电流的通过把其它形式的能量转换成电能，同时进行着电能的传输和分配，以及把电能转换成所需要的其它形式能量的过程。典型的例子是电力系统，发电厂的发电机把热能、原子能或水能等转换成电能，通过变压器、输电线等输送给各用电单位，在那里又把电能转换成机械能、光能、热能等。这样构成了一个极为复杂的电路。一般把供给电能的设备称为电源，而把用电设备称为负载。

电路的另一重要作用是信号处理。通过电路把施加的信号（称为激励）变换或“加工”成为其它所需要的输出（称为响应）。举例来说，微弱的信号需要经过放大后才能满足工作要求，像收音机或电视机在接收无线电信号时就是如此。因而有专为放大信号用的电路，称为放大器。在收音机或电视机中还有所谓的调谐电路，其功能是从许多接收到的各个发射台发出的不同信号中专门选择出所需要的信号，而排除其它信号。像放大器和调谐电路的作用就是处理激励信号使之成为所需要的响应。

在其它许多场合，如自动控制设备，计算机，通信设备等方面，有种类繁多，形形色色的各种电路。总之，电路的例子在各个工业部门举不胜举，就是在日常生活中也屡见不鲜。

本书的研究对象是电路的基本理论，通常电路的实际部件在工作过程中都和电磁现象有关。例如：各种电阻器、电灯、电烙铁等用电器，它们具有对电流呈现阻力、消耗电能的主要性质。由于有电流流过，其周围就要产生磁场，因而又兼有电感的性质。各种电感线圈有储存磁场能量的性质。由于电感线圈的导线多少总有点电阻，因而又兼有电阻的性质。各种电容器均具有储存电场能量的主要性质，也兼有电阻的次要性质甚至还兼有电

感性质。一个实际的电压源总有一定的内阻,当有电流流过时,不可能保持定值的端电压。金属导线多少总有一点电阻,甚至还有电感等等。由于实际部件的电磁性质比较复杂,难以用数学式子来描述它们,用这些实际部件组成电路时,如果不分主次,把各种性质全部考虑在内,问题就非常复杂,给分析电路带来很大困难,甚至无法进行分析。因此,我们必须在一定的条件下对实际部件加以理想化,忽略它的次要性质,用足以表征其主要性质的理想化模型来表示,以便对电路进行分析、计算。模型由理想元件构成,有些实际部件的模型只可由一种理想元件构成。例如,电灯、电烙铁、电阻器等实际部件,可用电阻元件来作模型。这个电阻元件只有对电流呈现阻力、消耗电能的性质,而无任何其它的性质;各种电感线圈可用电感元件来作模型。这种电感元件只有储存磁场能量的性质而无任何其它的性质;同样,我们可以用只有储存电场能量性质而无任何其它性质的电容元件来作各种实际电容器的模型。理想元件的性质单纯,都可以用数学式子来精确地加以定义。今后,电路分析中所涉及的各种元件都是指理想元件。

各种理想元件都用一定的符号图形来表示,图 1-1-1 所表示的是三种基本理想元件的符号图形。由理想元件组成的电路就是电路模型。

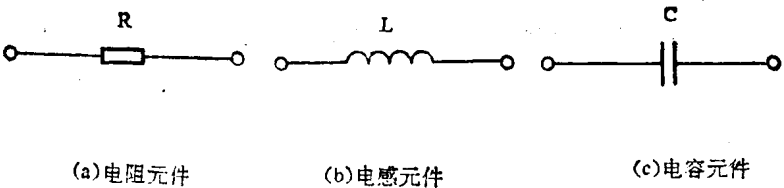


图1-1-1 三种理想元件的符号图形

有了理想元件和电路模型的概念以后,可以把一个实际电路表示成相对应的电路模型。例如,图 1-1-2 所示是一个简单的实际电路,其中有一个电源(干电池),一个负载(小灯泡),一只开关和两根导线,其电路模型如图 1-1-3 所示。电阻元件  $R$  表示小灯泡,干电池则用理想电压源  $U_s$  和电阻元件  $R_s$  来表示(这种模型在 § 1-4 中讨论)。在一般情况下,连接元件的导线被认为是电阻为零的理想导体,即导线电阻忽略不计。

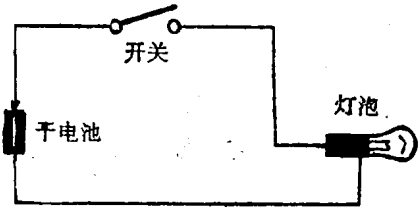


图1-1-2 一个简单的实际电路

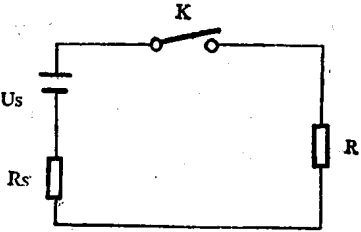


图1-1-3 图1-1-2的电路模型

这里必须强调指出,今后研究的电路都是指从实际电路中抽象出来的,理想化了的电路模型。为简便起见,今后省略“理想”二字,元件都是指理想元件。

## § 1-2 电流、电压和功率

电路分析通常是在给定电路结构和元件数值的条件下,求电路中各处电流、电压的分

配,有时还需求出各元件的功率;或者是在给定输入(激励)、输出(响应)的条件下,求电路的元件数值。在电路分析中,不管是上述的哪一类问题,都要涉及到电流、电压和功率这三个基本物理量。下面分别进行讨论。

## 一、电流

电荷有规律的运动称为电流。导体内的电流是由于金属导体内部自由电子在电场力作用下运动而形成的;而电解液或被电离后的气体导电,则是由于电解液或电离后的气体的正负离子在电场力作用下相反运动而形成的。无论是固体、液体还是气体中的电流都是带电荷质点的有规则的运动。

电荷的移动虽然不能直接被观察到,但通过运动电荷所发生的各种现象,可以间接观察到它的存在。例如,电灯亮了,就是有电流通过灯泡;收音机响了,说明有电流通过喇叭。

为了从数量上来衡量电流的大小,引入电流强度这一物理量,用符号*i*或*I*表示。

单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度。或者说,电流强度就是电荷对时间的变化率,即

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

式中电荷*q*的单位为库仑(C),时间*t*的单位为秒(s),电流*i*的单位为安培(A)。

安培是国际单位制中的基本单位之一。若1秒钟内通过导体横截面的电量为1库仑,则电流强度为1安培。

电流强度简称为电流。电流一词不但代表一种物理现象,而且也代表一个物理量。

电流的大小可以用电流强度来衡量,那么电流的方向又如何规定呢?习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。电流强度*i*一般是时间的函数,即随时间按一定规律变化的。如果电流的大小和方向都不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流。在这种情况下,(1-2-1)式可写为

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

式中*q*为在时间*t*内通过导体横截面的电量。

上面已经提到正电荷运动的方向规定为电流的实际方向,但在比较复杂电路中要预先正确判断电流的实际方向,往往并非容易。因此,引入一个十分重要的概念——参考方向。参考方向也称为正方向。

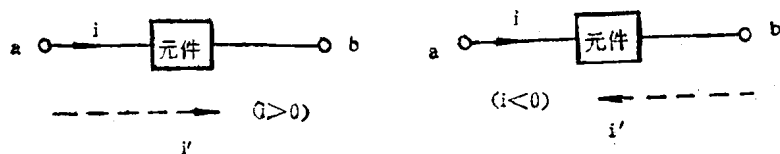


图1-2-1 电流的正方向(*i*表示参考方向,*i'*表示实际方向)

在电路图中,可以任意用箭头表示电流的方向。这一任意假定的方向称为电流的正方

向,如图1-2-1所示。图中方框表示电路元件,  $a$ 、 $b$  表示该元件的二个端钮, 箭头表示电流  $i$  的正方向。我们规定: 如果电流的实际方向与正方向一致, 电流为正值; 如果两者相反, 电流为负值。这样, 根据电流的正方向, 结合电流的正负值就可以来判断电流的实际方向。必须注意, 不标出电流的正方向, 谈论电流的正负是没有意义的。今后, 在电路图中仅标明电流的正方向, 而不标实际方向, 以免混淆。读者必须养成在着手分析电路时, 先标定正方向的习惯。

## 二、电压

电荷在电场力作用下移动时, 电场力对电荷做功。为了衡量电场力做功的大小, 引入电压物理量。

电压的定义是: 电场力把单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所作的功称为  $a$ 、 $b$  两点之间的电压。电压用  $U$  或  $u$  表示, 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2-3)$$

式中,  $w$  是电场力将单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所做的功, 单位为焦耳(J)。 $q$  是被移动的单位正电荷的电量, 单位为库仑。 $u$  是电路中  $a$ 、 $b$  两点间的电压, (有时加上角标用  $u_{ab}$  表示) 单位为伏特, 简称伏(V)。

$$1\text{伏} = \frac{1\text{焦}}{1\text{库仑}}$$

电压又称为电位差, 它总是和电路中的两个点有关。电压和能量的关系十分密切, 如果正电荷从  $a$  端移动到  $b$  端时是失去能量, 则  $a$  点为高电位, 这时  $a$  端为正极,  $b$  端为负极,  $u_{ab}$  是电压降, 其值为正。如果正电荷由  $a$  端移到  $b$  端时是得到能量, 则  $a$  端为低电位,  $b$  端为高电位, 这时  $u_{ab}$  是电压升, 其值为负。因此, 正电荷在移动时, 能量的得失体现为电位的升高和降落。

在电路中的电压  $u$  一般是时间的函数, 即大小和极性是随时间按一定规律变化的。如果电压的大小和极性不随时间变化, 则这种电压称为恒定电压或直流电压, 可用符号  $U$  表示。在这种情况下, (1-2-3) 式可写为

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-2-4)$$

在电路中, 常常难以事先判断元件两端电压的实际极性, 因此, 在分析电路时, 和电流一样, 也要先为元件电压假设参考极性。电压参考极性用 “+” “-” 号表示, 如图1-2-2所示。一般规定, 当电压的实际极性与参考极性一致时, 电压为正值; 反之, 电压为负值。同样, 不标出电压参考极性, 谈论电压的正负是没有意义的。电压的参考极性也称为参考方向或正方向。

根据前面所述, 分析电路时, 电流和电压都要假定参考方向, 而且可以任意假定。但

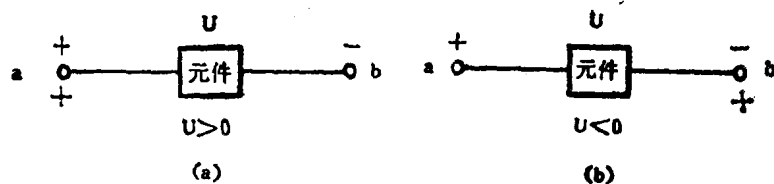


图1-2-2 电压的正方向 (实线表示参考极性、虚线表示实际极性)

为了方便起见, 往往采用关联参考方向。所谓关联参考方向, 就是把元件上的电压参考方向和电流参考方向取为一致, 也就是电流从电压标“+”极的端钮流入, 如图1-2-3(a)所示。在采用关联参考方向下, 电路图中只标出电流的参考方向, 就能确定电压的参考方向, 反之亦然, 如图1-2-3(b)、(c)所示。今后在电路图中凡未特殊说明的, 均指关联参考方向。

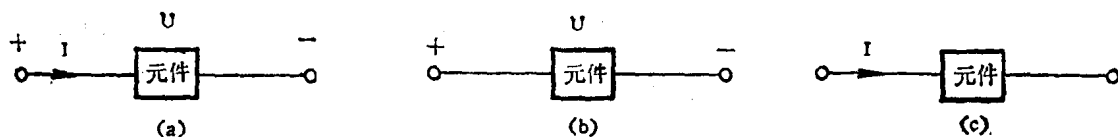


图1-2-3 关联参考方向的各种表达法

### 三、功率

前面已经谈到, 当正电荷由元件的a端移动到b端失去能量时, 该元件就是吸收能量的元件, 若正电荷由a端移动到b端得到能量, 则该元件就是产生能量的元件。实际上, 单位时间内所吸收或产生的能量, 就是该元件所吸收或产生的功率。那么, 如何根据电压、电流的关系, 确定该元件是吸收还是产生功率呢?

在图1-2-4中, 长方框代表元件, 并采用了关联的参考方向, 设在  $dt$  时间内由 a 点移动到 b 点的正电荷量为  $dq$ , 由 a 到 b 为电压降, 其值为  $u$ , 则根据电压的定义 (1-2-3) 式可知, 在转移过程中, 正电荷  $dq$  失去的电能为

$$dw = u \cdot dq$$

正电荷失去电能, 也就是元件吸收了电能。

因此元件吸收的功率为

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt}$$

但

$$i = \frac{dq}{dt}$$

故得

$$p = u \cdot i \quad (1-2-5a)$$

式中电压单位为伏特, 电流单位为安培, 功率单位为瓦特, 简称瓦 (W), 即

$$1\text{瓦} = 1\text{伏} \cdot \text{安}$$

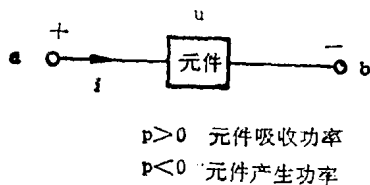


图1-2-4 功率

在直流电路中，电压、电流都是常量，显然功率也是个常量，这时功率用符号 $P$ 表示，于是上式可写成

$$P = U \cdot I \quad (1-2-5b)$$

必须注意：在电压、电流为关联的参考方向下，由(1-2-5)式算得功率 $p$ 或 $P > 0$ 时，表明该元件为吸收功率；若 $p$ 或 $P < 0$ 时，则为产生功率。

当电压、电流为非关联参考方向时，则计算功率的公式应为

$$p = -u \cdot i \quad (1-2-6a)$$

或  $P = -U \cdot I \quad (1-2-6b)$

按(1-2-6)式计算得功率，仍然是：

$p$ 或 $P > 0$  为吸收功率

$p$ 或 $P < 0$  为产生功率

这里还需强调，(1-2-5)和(1-2-6)式是直接由电压及电流的定义式推导出来的，并未涉及元件本身的特性，因而对任何元件都是适用的，同时也适用于任何一段电路。

〔例1-2-1〕 计算图1-2-5中各元件的功率，指出是产生功率还是吸收功率。

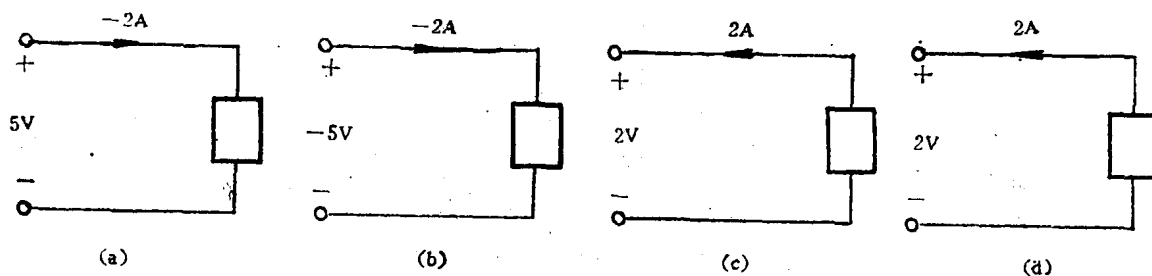


图1-2-5 例1-2-1电路

解：(a)图：电压、电流为关联参考方向，由 $P = U \cdot I$ 得

$P = (-2) \times 5 = -10W$ ， $P < 0$ ，产生功率。

(b)图：因为是关联参考方向，故

表1—2—1 国际单位制词冠

| 词 冠       | 符 号 |       | 因 数        |
|-----------|-----|-------|------------|
|           | 中 文 | 国 际   |            |
| 兆 (mega)  | 兆   | M     | $10^6$     |
| 千 (kilo)  | 千   | k     | $10^3$     |
| 毫 (milli) | 毫   | m     | $10^{-3}$  |
| 微 (micro) | 微   | $\mu$ | $10^{-6}$  |
| 皮可 (pico) | 皮   | p     | $10^{-12}$ |

$P = (-2) \times (-5) = 10\text{W}$ ,  $P > 0$ , 吸收功率。

(c)图: 因为是非关联参考方向, 故

$P = -2 \times 2 = -4\text{W}$ ,  $P < 0$ , 产生功率。

(d)图: 因为是关联参考方向, 故

$P = 2 \times 2 = 4\text{W}$ ,  $P > 0$ , 吸收功率。

前面介绍了电流、电压和功率几个物理量, 在电路分析中经常用到它们, 应当深刻理解, 熟练掌握。它们的单位分别为安、伏和瓦, 都是国际单位制中所采用的单位, 但实际应用中常在这些单位前加上词头形成辅助单位, 见表1-2-1。

## § 1-3 欧姆定律、电阻和电导

前面已经提到, 今后所研究的电路都是指从实际电路中抽象出来的, 理想化了的电路模型。因此, 要对电路进行分析计算, 就必须掌握电路元件的特性及它表征为元件的电压与电流之间的关系。本节先说明电阻元件的特性。

### 一、欧姆定律

如图1-3-1所示, 在电阻元件两端施加电压 $U$ , 即有电流流动, 就要消耗电能, 沿着电流流动方向的两个端钮上就出现电压降, 该电压降与流过的电流成正比, 这一规律称为电路的欧姆定律, 表达式为:

$$U = I \cdot R \quad (1-3-1)$$

式中的比例常数 $R$ 与元件两端的电压和流过电流的大小无关, 它是联系电阻中的电流和电阻两端电压的一个电气参数。这样, 电阻这个术语以及它相应的符号 $R$ , 一方面表示消耗电能的理想元件, 另一方面亦表示这个元件的参数。

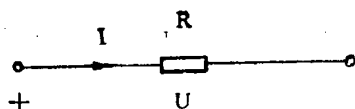


图1-3-1 线性电阻元件

在国际单位制中, 电阻的单位是欧姆, 简称欧( $\Omega$ )。

$$1\text{欧} = 1 \frac{\text{伏}}{\text{安}}$$

这里必须强调指出, (1-3-1)式只有在关联的参考方向下才能使用, 这是因为电阻元件中的电压和电流的实际方向总是一致的。如果电压和电流的参考方向相反, 如图1-3-1(b)所示, 则欧姆定律表示式为:

$$U = -I \cdot R$$



在电工和无线电技术中，常用到电导这一物理量，它是用来衡量导体导电能力的，数值上等于电阻的倒数，用符号 $G$ 表示，即：

$$G = \frac{1}{R}$$

在国际单位制中，电导的单位是西门子，简称西(S)。

引入电导后，欧姆定律(1-3-1)式也可写成：

$$I = GU \quad (1-3-2)$$

阻值不随电压、电流而改变的电阻称为线性电阻，由线性电阻组成的电路称为线性电路。阻值随电压、电流而改变的电阻称为非线性电阻，例如晶体二极管就是非线性电阻，含有非线性电阻的电路称为非线性电路。欧姆定律只适用于线性电路。线性电路的伏安特性是一条通过原点的直线，如图1-3-2所示。而非线性电阻不能用一个参数 $R$ 或 $G$ 来表征，其伏安特性是一条曲线，图1-3-3是晶体二极管的伏安特性曲线。

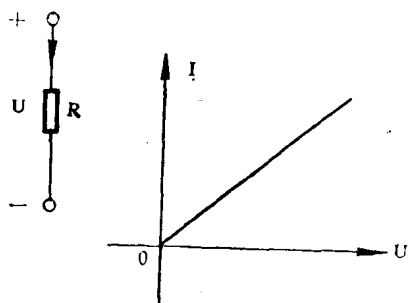


图1-3-2 线性电阻元件的伏安特性

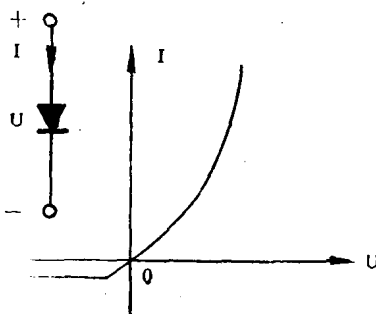


图1-3-3 二极管的伏安特性

严格来说，所有电阻器、电灯、电炉等实际电路元件的电阻或多或少都是非线性的，但在一定工作电压、电流范围内，它们的伏安特性近似为一直线，因此可以用线性电阻元件作为它们的模型。今后除特殊指出外，所有电阻均指线性电阻而言。

## 二、电阻元件的功率

由§1-2所述，在关联的参考方向下，电阻元件所吸收或消耗的功率为

$$P = UI$$

如将(1-3-1)式代入上式，可得

$$P = I^2 R \quad (1-3-3)$$

或

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-3-4)$$

由上两式可知，当电阻 $R$ 一定时，功率与电压或电流的平方成正比；当电流一定时，功率与电阻或电压成正比；当电压一定时，功率与电阻成反比。