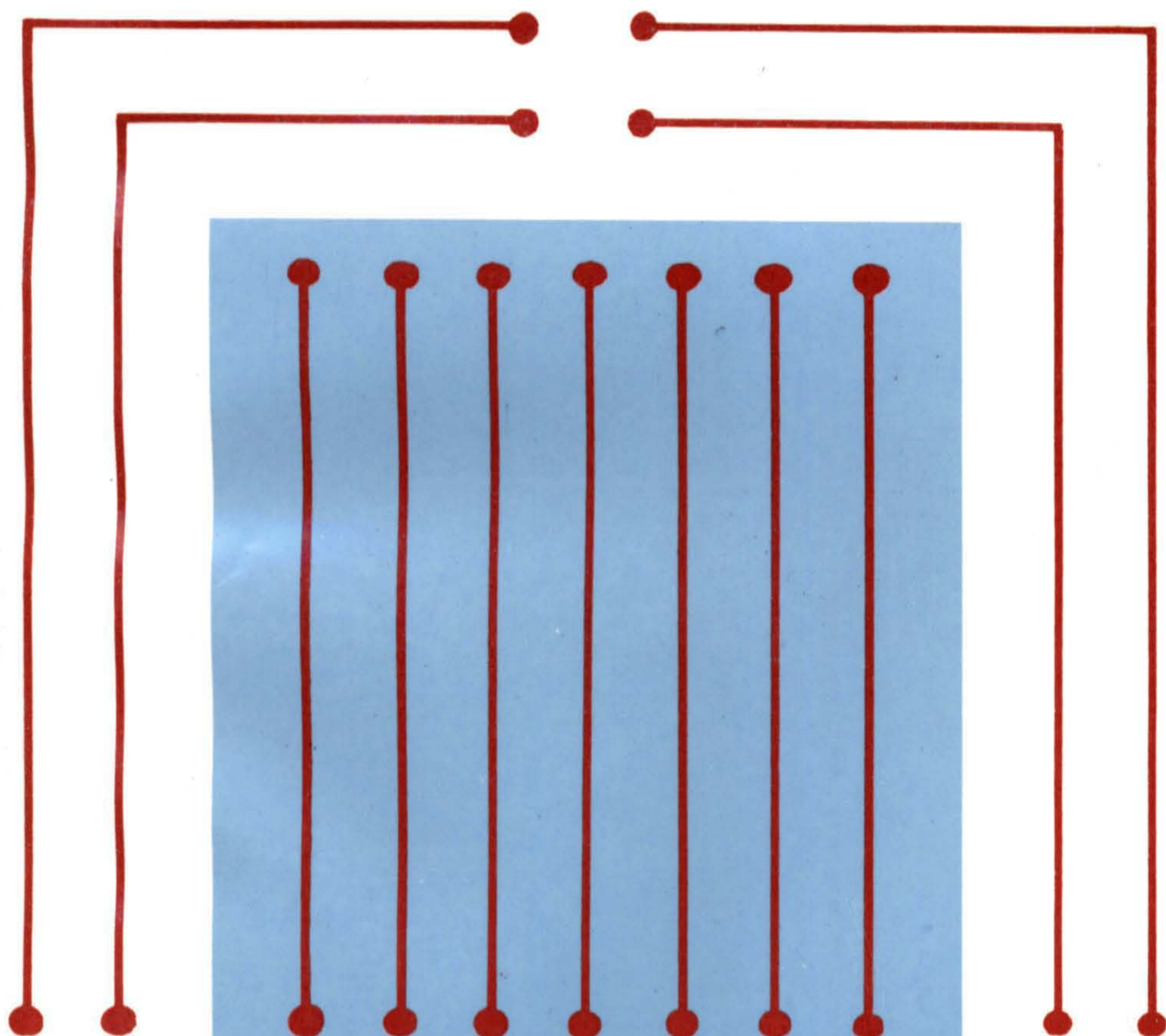


# 电路基础

温照方 编



北京理工大学出版社

# 电 路 基 础

温照方 编

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据高校的光电仪器、仪表、液压等专业的教学要求而编写。全书共分七章，每章均附有一定数量的习题。本书可作为高等工科院校部分非电专业及机电专业本科生学习电路基础的教材和教学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电路基础/温照方编. —北京: 北京理工大学出版社, 1996. 6  
高校教材

ISBN 7-81045-151-0

I. 电… II. 温… III. 电路-基础理论-高等学校-教材  
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09481 号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

邮政编码 100081 电话: 68422683

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

\*

850×1168 毫米 32 开本 8.875 印张 231 千字

1996 年 8 月第一版 1996 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 11.50 元

---

※图书印装有误, 可随时与我社退换※

# 前 言

本教材是根据高校光电仪器、仪表、液压等专业的电工技术基础课程的教学基本要求而编写。全书共分七章，内容包括：直流电路，正弦交流电路，三相交流电路，非正弦周期电路，暂态过程分析及双口网络。本教材在编写过程中得到刘蕴陶教授的具体指导和帮助，他详细审阅了全部书稿，提出许多修改意见，提高了本教材的质量，在此向刘蕴陶教授表示衷心的感谢。本书在编写过程中还得到其他许多老师的关心和帮助，在此向他们表示衷心谢意。

由于本人水平有限，书中错误及不妥之处在所难免，请读者提出宝贵意见，以便修正和提高。

**编 者**

**1995. 9**

# 目 录

<b>第一章 电路模型和电路定律</b> .....	(1)
第一节 电路模型 .....	(1)
第二节 电路的基本物理量及其正方向 .....	(3)
第三节 电阻、电感和电容元件 .....	(10)
第四节 电压源和电流源 .....	(16)
第五节 受控电源 .....	(21)
第六节 克希荷夫定律 .....	(23)
第七节 电路中电位的概念 .....	(28)
第八节 电路中的功率传输 .....	(29)
习题 .....	(32)
<b>第二章 直流电路的分析</b> .....	(39)
第一节 等效电阻的概念及计算 .....	(39)
第二节 星形联接电阻和三角形联接电阻的等效变换 .....	(43)
第三节 电压源和电流源的等效变换 .....	(46)
第四节 支路电流法 .....	(49)
第五节 网孔电流法 .....	(52)
第六节 节点电位法 .....	(55)
第七节 含受控源电路的分析方法 .....	(60)
第八节 叠加原理 .....	(63)
第九节 置换定理 .....	(67)
第十节 戴维南定理与诺顿定理 .....	(68)
习题 .....	(79)
<b>第三章 正弦稳态交流电路的分析</b> .....	(88)
第一节 正弦电量的基本概念 .....	(88)
第二节 正弦电量的相量表示法 .....	(92)
第三节 正弦电路中的电阻、电感及电容元件 .....	(96)

第四节	克希荷夫定律的相量形式 .....	(107)
第五节	复阻抗与复导纳 .....	(109)
第六节	正弦交流电路的计算 .....	(119)
第七节	正弦交流电路的功率 .....	(131)
第八节	正弦交流电路的功率传输 .....	(135)
第九节	正弦交流电路的串联谐振 .....	(140)
第十节	正弦交流电路的并联谐振 .....	(147)
习题	.....	(153)
<b>第四章</b>	<b>三相交流电路的分析 .....</b>	<b>(161)</b>
第一节	三相对称电源和负载 .....	(161)
第二节	对称三相电路的计算 .....	(166)
第三节	不对称三相电路的概念 .....	(172)
第四节	三相电路的功率及测量 .....	(176)
第五节	安全用电常识 .....	(179)
习题	.....	(180)
<b>第五章</b>	<b>非正弦周期电路的分析 .....</b>	<b>(183)</b>
第一节	非正弦量的分解 .....	(183)
第二节	非正弦量的有效值、平均值及功率 .....	(186)
第三节	非正弦周期电路的计算 .....	(189)
习题	.....	(193)
<b>第六章</b>	<b>线性电路的暂态分析 .....</b>	<b>(194)</b>
第一节	电路的暂态过程和换路定则 .....	(194)
第二节	稳态值和初始值的确定 .....	(197)
第三节	一阶电路的零状态及零输入响应 .....	(200)
第四节	一阶电路的全响应及三要素法 .....	(212)
第五节	一阶电路的阶跃响应 .....	(221)
第六节	一阶电路的正弦响应 .....	(228)
第七节	一阶电路的冲激响应 .....	(231)
第八节	微分与积分电路 .....	(234)
第九节	二阶电路的零输入响应 .....	(237)
习题	.....	(241)
<b>第七章</b>	<b>双口网络 .....</b>	<b>(247)</b>

第一节	双口网络及导纳参数 .....	(247)
第二节	阻抗参数 .....	(251)
第三节	混合参数 .....	(253)
第四节	传输参数 .....	(256)
第五节	双口网络参数间的关系 .....	(258)
第六节	双口网络的连接 .....	(261)
习题	.....	(268)
<b>部分习题答案</b>	.....	(270)
<b>参考文献</b>	.....	(274)

# 第一章 电路模型和电路定律

电路理论以分析和研究电路的基本性质和基本规律为主要内容，是关于电器件的电路造型、电路分析、电路综合等方面的理论。电路造型是指依据电磁场理论和半导体理论建立起来的电器件的电路模型；电路分析是根据已知的电路结构和电路元件参数，计算电路的响应，即计算电压、电流等；电路综合是根据已知的激励和响应来确定电路结构和电路元件参数。本书主要讨论部分电路造型和电路分析。这一章讨论电路模型和电路分析的基本定律。

## 第一节 电路模型

电能是日常生活、工农业生产、国防建设等各个方面必不可少的一种能源。电能的传输、分配和转换又是由各种不同的电路来完成。随着电子技术的迅速发展，电路的应用更加广泛。它不仅仅是提供、传送能量，而且还担当着处理信号的任务。如大家所熟悉的收录机和电视机等，它们将所接收到的电信号进行转换与放大，最后变成声音或图像。

各种实际的电路都是由电工、电子元器件按一定方式联接成的整体。日常生活中最常见的一种简单电路就是手电筒电路。它是由干电池、灯泡、手电筒壳（联接导体）及开关所组成（见图1-1-1（a））。

干电池是一种电源，它将化学能转换成电能，向电路提供能量。灯泡由电阻丝制成，当电流流过电阻丝时发热而使灯泡发光，

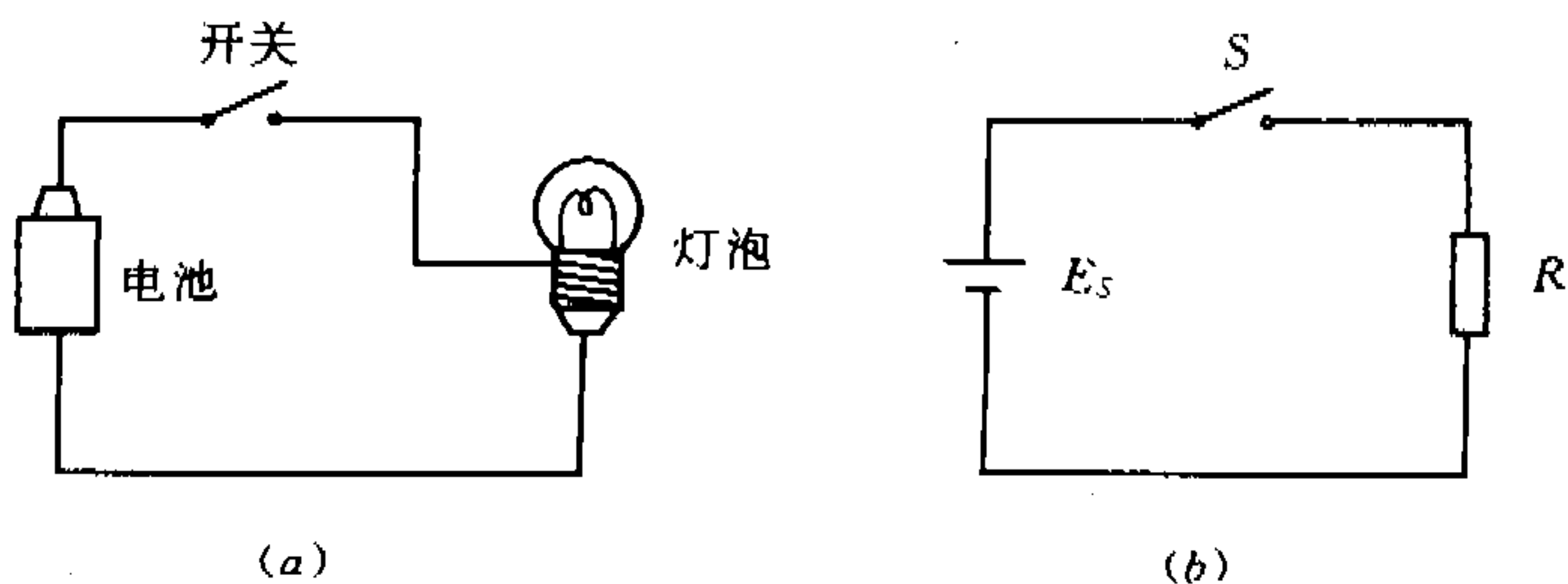


图 1-1-1

(a) 手电筒电路；(b) 电路图

它是消耗电能的一种器件。通常把消耗电能的用电器件称为负载。开关则起到了接通和断开电路的作用。而联接导体则构成了电流的通路。

电路理论分析的对象不是实际电路，而是从实际电路中抽象出来的电路模型。因为对于一个实际电路及实际的元器件而言，它的电磁性质比较复杂。如电灯泡它除了表现出消耗电能具有电阻的性质外，还具有电感的性质，就是说电流流过时还会产生磁场。这就给电路分析带来一定的困难，而且在不同的条件下，同一元器件所表现出的性质也不同。为了既能对电路进行正确分析，又能使电路分析容易进行，必须在一定条件下对实际元器件加以理想化，即忽略它的次要性质，用一个能够表征其主要性能模型来表示。就灯泡而言，它的电感极其微小，主要特性是消耗电能，所以可以把它看成是一个理想电阻元件（见图 1-1-1 (b)）。在实际电路中还有电感线圈、电容器、电源等等，它们都可以用理想元件来表示。如电感线圈可用表征贮有磁场能量的理想电感元件来表示；电容器可用表征贮有电场能量的理想电容元件来表示；电源，如干电池可用理想电压源元件来表示；联接导线视为无阻的理想导体。常用的理想元件模型如图 1-1-2 所示，由这些理想元件构成的电路图称为电路模型。

把实际元件用元件模型来近似地表示其性质的方法称元件理想化，理想化的元件模型称为集总参数元件，由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。事实上，把实际元件用集总参数元件表示时，总是在一定的假设条件下，即元件的尺寸远小于正常工作频率所对应的波长。如电力用电频率为 50Hz，对应的波长为 6000km，显然对实验室的设备来说集总参数的概念是完全适用的，而对于远距离的电力传输线，就不能用集总参数的概念。

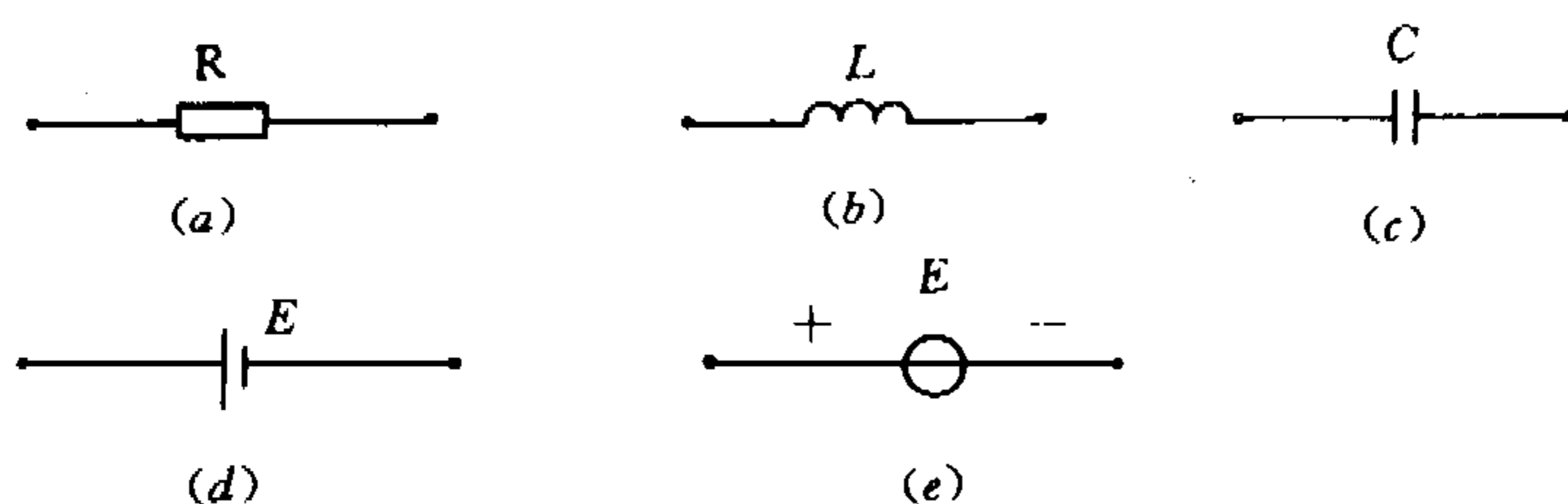


图 1-1-2

(a) 电阻；(b) 电感；(c) 电容；(d) 干电池；(e) 电压源

把实际电路用电路模型表示之后，就可以方便地对电路进行分析、研究，从而获得电路中具有普遍意义的规律和对电路分析的一般方法。另外，对于实际的元器件，当同时具有两种或两种以上性质时，也可以用若干个理想元件来代替这个实际元件。如电感线圈，它本身除具有电感的性质外，其电感线圈的电阻也不允许忽略，这时就可以用理想电感元件与理想电阻元件的串联来代替（为简便起见，今后将省略理想二字，书中的元件均指理想元件）。

## 第二节 电路的基本物理量及其正方向

在开始分析电路之前，首先讨论描述电路的基本物理量：电压、电动势、电流及功率。

电荷的定向流动形成电流，其大小定义为：单位时间内通过导体横截面的电荷量。又将其称为电流强度，简称为电流。不随时间变化的电流称为直流电流，并用符号  $I$  表示，其表达式为

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

周期地变化而不含直流分量的电流称为交变电流，并用符号  $i$  表示，其表达式为

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

电流的单位为安培 (A)。

在实际中，人们习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。在对一般简单电路进行分析时，可以事先判断出电流的实际方向，然后再对电路进行计算。然而对于复杂电路，电流的实际方向难以事先确定，特别是交流电路，其电流的大小和方向均随时间变化，很难表示出它的实际方向。为了分析电路问题，常常需要事先假设电流的流动方向，将这种假设的电流方向称为电流正方向（或参考方向）。

电流在电路中的方向只有两种可能，见图 1-2-1。可以事先选择其中某一个方向作为电流的正方向，由于电流的正方向可以任意选择，所以电流的实际方向与电流的正方向可能不一致，但这并不影响计算结果，只需根据计算出电流值的正或负即可确定电流的实际方向。如果电流值为正，则电流的实际方向与所假定的正方向一致；如果电流值为负，则电流的实际方向与所假定的正方向相反。这样在对电路分析时，就可以事先任意假设电流的正方向，并以选定的正方向为准去分析和计算电路，然后再确定电流的实际方向。显然在事先未确定出电流正方向的情况下，电流值的正负是无任何意义的。

电流正方向在电路图有两种表示方法，用带箭头的短线表示或双下标字母表示，如图 1-2-1 所示。在图 (a) 中，如果  $I_{AB} =$

-1A, 说明图中的电流正方向与实际方向相反。显然图 1-2-1 中的  $I_{AB} = -I_{BA}$ 。

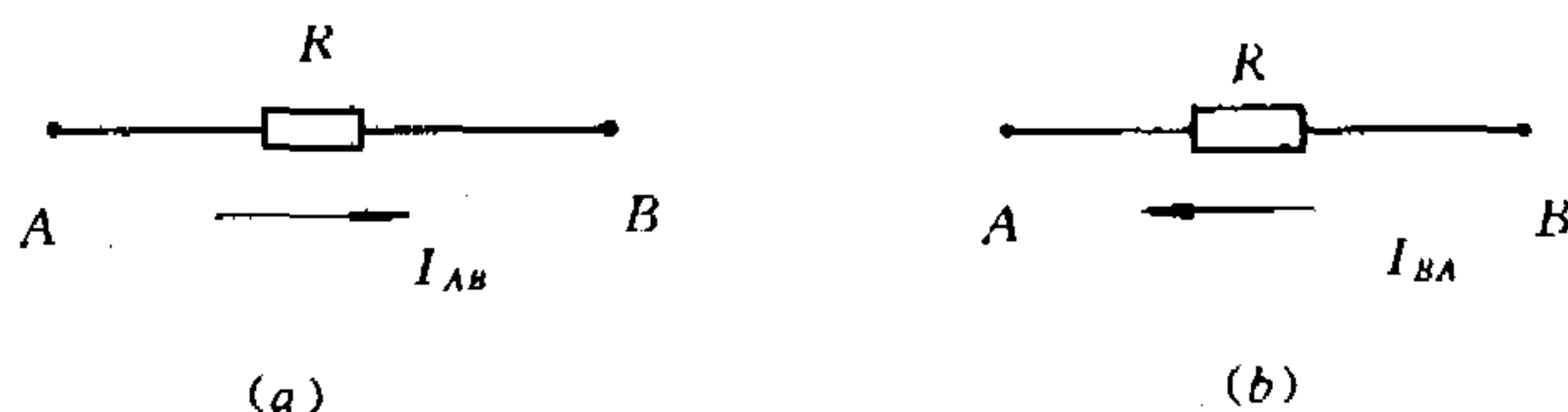


图 1-2-1 电流的正方向

电荷之所以能在电路中流动, 是由于电荷在电路中受电场力的作用, 即电场力对电荷做了功。为了衡量电场力做功的大小, 引入了电压这一物理量, 其定义为: 单位正电荷由电场中  $A$  点移到  $B$  点电场力所做的功, 称为  $AB$  两点之间的电压 (见图 1-2-2)。其表达式为

$$u_{AB} = \frac{dW}{dQ} \quad (1-2-3)$$

如果电压的大小不随时间而变, 其表达式又可写为

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

电压的单位为伏特 (V)。

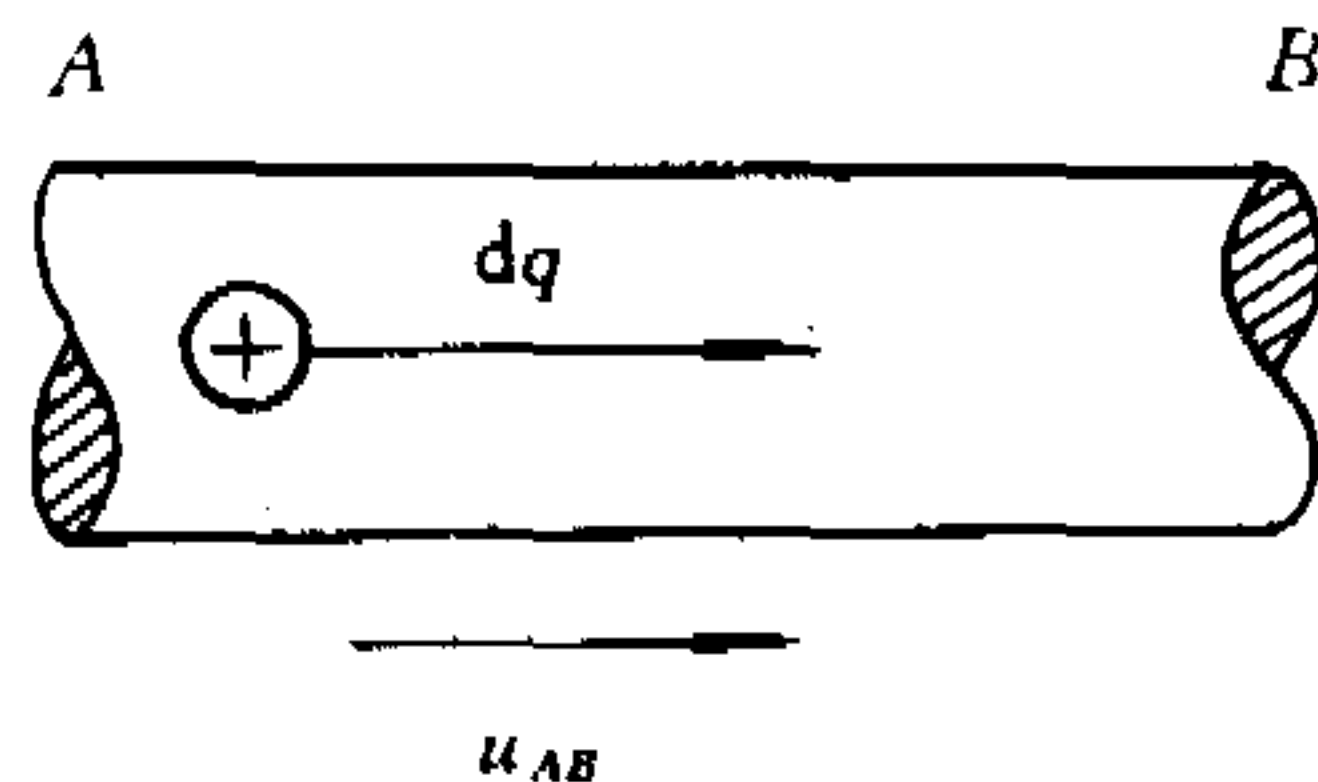


图 1-2-2 电压的概念

在 (1-2-3) 式中,  $dq$  为从  $A$  点移到  $B$  点的电量, 如果正电荷在由  $A$  点移到  $B$  点的过程中失去能量  $dW$ , 则称  $A$  点为高电位点;  $B$  点被称为低电位点, 显然  $AB$  两点之间的电压为高电位与低

电位之差，则电压也称电位差。由于正电荷在电路中移动时，其能量的失去表现为电压的降落，所以把电压的实际方向定义为从高电位点指向低电位点，即电压降的方向，并用“+”表示高电位点，“-”表示低电位点。

与电流同理，电压在电路中的方向也有两种可能，如图 1-2-3 所示。图中所标定的电压方向是电压正方向，并不一定是电压的实际方向，它可能与电压的实际方向一致，也可能不一致。在对电路进行分析时，可以事先任意选择某一个方向作为电压的正方向，然后根据得到的电压值的正负来确定电压的实际方向。当电压的实际方向与正方向一致时，它的数值为正；反之则为负。

电压的正方向可用箭头表示，也可用“+”、“-”表示，或用双下标表示，如图 1-2-3 所示。在图 (a) 中电压  $U$  的正方向就可写成  $U_{AB}$ ，这就表示了假定  $A$  点电位高于  $B$  点电位，如果  $U_{AB} = -1V$ ，则图 (a) 中所标定的电压正方向与实际电压方向相反，显然也有  $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

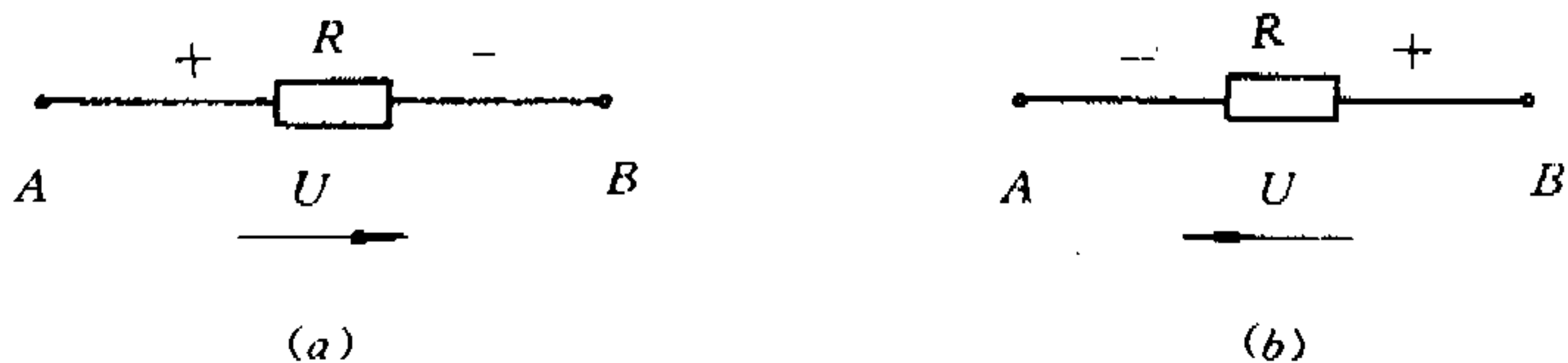


图 1-2-3 电压方向

还需指出，电压和电流的正方向可以任意指定，但一经确定后，在电路的分析和计算过程中，就不能改变它们的正方向，否则会引起混乱而导致计算结果错误。

一般同一段电路的电压和电流正方向可以有不同的组合，即把电压的正方向与电流的正方向选择为一致或不一致。若电流和电压二者正方向选择为一致，称为关联正方向，见图 1-2-4 (a)，否则称为非关联正方向，见图 1-2-4 (b)。在关联正方向下，欧姆定律的表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2-5)$$

在非关联正方向下，欧姆定律的表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-2-6)$$

从上面对电压的讨论过程中得知，电荷在由  $A$  点移到  $B$  点过程中会失去能量。所谓失去能量，就是指将电荷所具有的电能转换成其它形式的能量。但是电荷在电路中移动时，也可能获得能量，电荷所获得的能量是由电源将其它形式的能量转换成电能。在电路中，电荷失去的电能是由电源所补偿。为了衡量电源将其它形式的能量转换成电能的能力，引入了电动势这一物理量。在数值上它等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端，经电源内部移到高电位端所做的功  $W_F$ ，即电荷所获得的电能，其表达式为

$$e = \frac{dW_F}{dq} \quad (1-2-7)$$

若是直流电源则表达式为

$$E = \frac{W_F}{q} \quad (1-2-8)$$

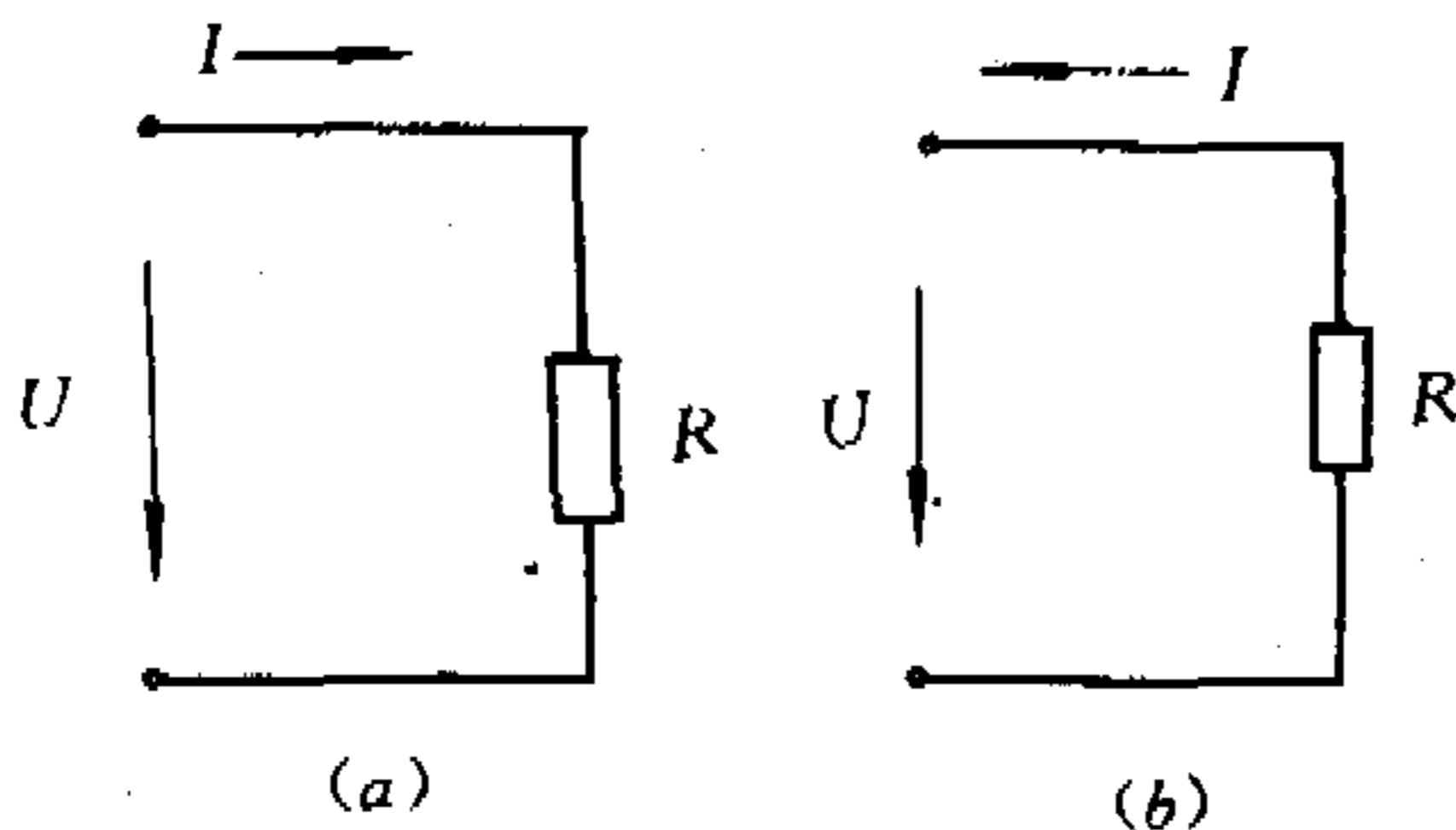


图 1-2-4 关联正方向

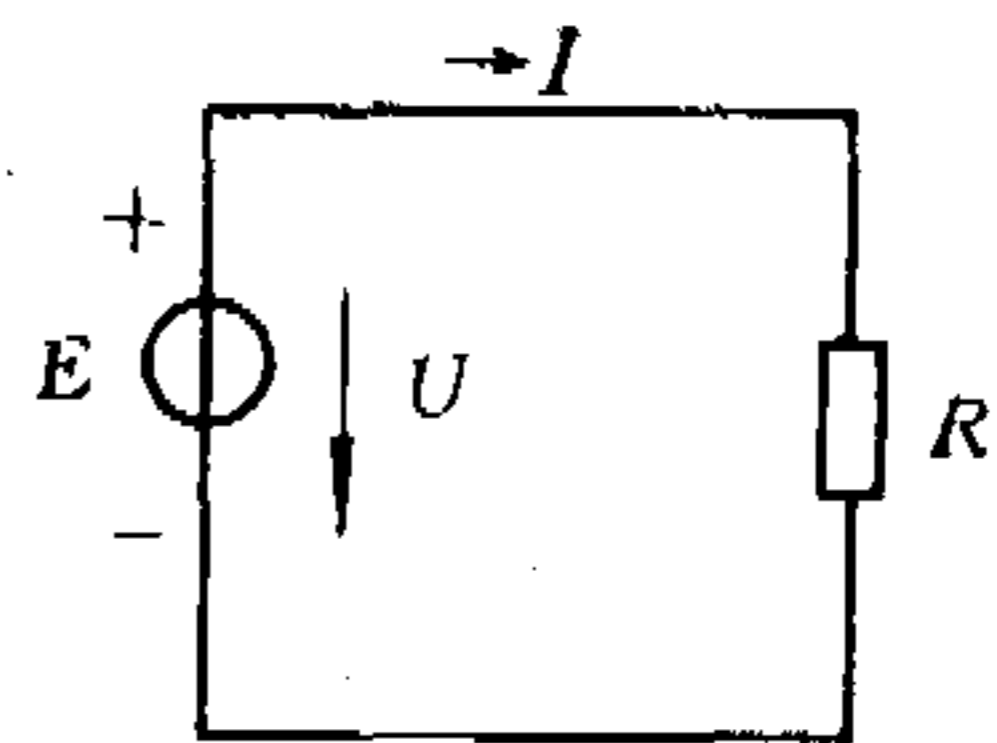


图 1-2-5 电动势与电压降

电动势的实际方向是由低电位点指向高电位点，即电位升的方向。这恰好与电压的实际方向相反。通常电源的实际方向均已给定，故不必再假设其正方向。从图 1-2-5 中可以看出，电流流经电阻  $R$  时所产生的电压降大小，在数值上应等于电源电动势的电

位升的大小。所以电源电动势也可以用其两端的电压来表示，但要注意两者的方向。

下面分析电路中的另一物理量—功率。在图 1-2-6 所示电路中的方框为电路的一部分。它可能是电源，也可能是电阻等元件，或若干个元件的组合。如果采用电压与电流为关联正方向（如图 1-2-6 (a) 所示），则假定正电荷在由 A 点（即高电位点）移动到 B 点（即低电位点）的过程中要失去能量，也就是说这段电路要吸收电能，其大小为

$$dW = udq = uidt$$

为了能衡量这段电路吸收电能的速率而引入功率这一物理量。即功率是指单位时间内吸收的电能，其表达式为

$$p = \frac{dW}{dt} = u \cdot i \quad (1-2-9)$$

上式通常又称为瞬时功率表达式。在直流电路中功率又可表示为

$$P = UI \quad (1-2-10)$$

因此，在关联正方向的前提下，可以由 (1-2-9) 式或 (1-2-10) 式计算出某元件或某段电路所吸收的功率。但是，由于电压与电流的方向是正方向，即不一定是实际方向，所以其数值可能为正，也可能为负，由此算得的功率值也有正、负两种可能。这说明式 (1-2-9) 或式 (1-2-10) 计算出的功率不一定是某段电路或某个元件真正吸收的功率，这需要根据功率的正值或负值来确定是吸收还是产生功率。若功率为正值，则电路或元件是吸收功率；若功率为负值，则电路或元件是产生功率，而且这个元件一定是电源，或该段电路中包含电源。如果电路中的电压与电流为非关联正方向（如图 1-2-6 (b) 所示），计算功率的公式应为

$$p = -ui \quad (1-2-11)$$

对于直流电路，功率又可表达为

$$P = -UI \quad (1-2-12)$$

这时判断某段电路或元件是吸收还是产生功率的方法与上述方法相同。功率的单位为瓦特 (W) 或千瓦 (kW)。

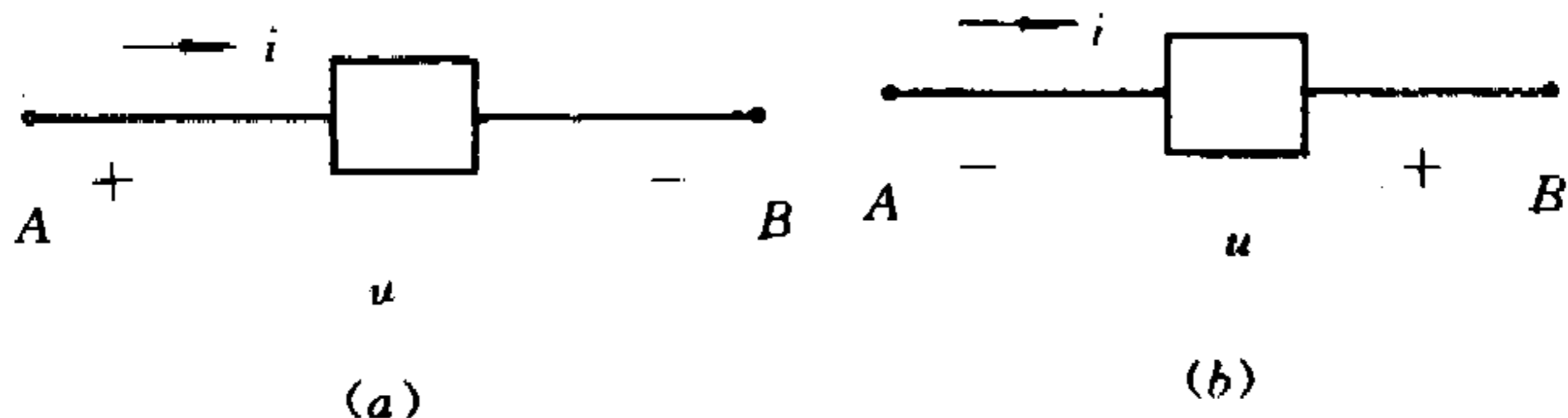


图 1-2-6 功率

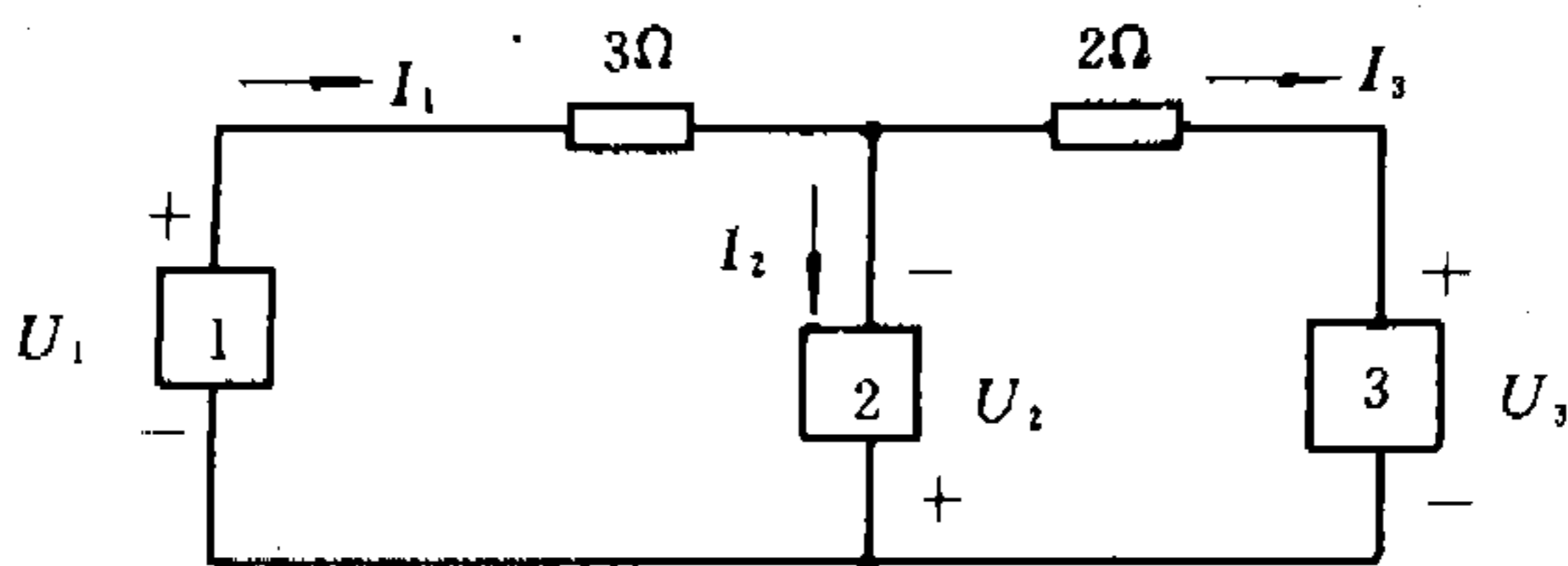


图 1-2-7 例题 1-2-1

**例题 1-2-1** 在图 1-2-7 所示电路中, 已知  $U_2 = -5\text{V}$ ,  $U_3 = 2\text{V}$ ,  $P_1 = -22\text{W}$ ,  $I_1 = 2\text{A}$ ,  $I_2 = 0.5\text{A}$ ,  $P_3 = 3\text{W}$ , 求  $P_2$ ,  $U_1$  及  $I_3$ 。

解: 对于元件 1, 由于电压与电流为非关联正方向, 所以元件 1 的功率为

$$P_1 = -U_1 I_1$$

则有

$$U_1 = -\frac{P_1}{I_1} = -\frac{-22}{2} = 11\text{V}$$

对于元件 2, 电压与电流也为非关联正方向, 所以元件 2 的功率为

$$P_2 = -U_2 I_2 = -(-5) \times 0.5 = 2.5\text{W} (\text{吸收})$$

对于元件 3, 电压与电流为关联正方向, 则有

$$P_3 = U_3 I_3$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U_3} = \frac{3}{2} = 1.5\text{A}$$

请读者自己验证电路中吸收的总功率等于所产生的总功率。

### 第三节 电阻、电感和电容元件

从上节得知电路图中的元件是从实际电路中抽象出来的理想化的元件模型。根据它们在电路中的作用不同分为两类：一类是电源元件，由它向电路提供电能；另一类为负载元件，将吸收的电能转换成其它形式的能量。本节将介绍负载元件，即电阻元件、电感元件和电容元件的一些基本电特性。

#### 一、电阻元件

电阻元件是将电能转换成热能的一种负载元件。由于它消耗电能，所以又称为耗能元件。当电阻元件两端电压与流过的电流为关联正方向时，其欧姆定律的表达式为

$$R = U / I$$

由欧姆定律定义的电阻元件  $R$ ，称为线性电阻元件，简称为电阻。如果把电压取为横坐标，电流取为纵坐标，则绘出的电压与电流的关系曲线称为伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过原点的直线，如图 1-3-1 所示。

令 
$$G = \frac{1}{R} \quad (1-3-1)$$

$G$  为电阻元件的电导，单位为西门子 (s)。显然电阻与电导是互为倒数关系。若用电导表示欧姆定律，则

$$G = \frac{I}{U} \quad (1-3-2)$$

电阻和电导是反映同一电阻元件特性的两个参数，电阻反映一个电阻元件对电流的阻力，电导则是衡量一个电阻元件导电能力强弱的标志。