



普通高等教育“十二五”规划教材

电路与磁路

张常年 张萌萌 关晓茵 曲洪权 任哲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

电路与磁路

张常年 张萌萌 关晓菡 曲洪权 任哲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容符合国家“高等学校电路课程教学基本要求”，为普通高等学校电气专业及信息专业教学用书。

本书共9章，主要包括：电路及电路基本定律、电路的基本分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、自感、互感及磁路、非线性电阻电路分析、非正弦周期电路、二端口网络、动态电路的暂态过程。特别地，对于学生掌握比较弱的电感及其应用，本书特设了第5章（自感、互感及磁路），深入到电感元件的内部重点介绍了电感及铁磁材料对电感的影响及磁路计算。

本书适合作为普通高等学校电气及信息类专业《电路基础》课程的教学用书。也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电路与磁路 / 张常年等编著. — 北京：中国水利水电出版社，2011.3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5084-8462-4

I. ①电… II. ①张… III. ①电路—高等学校—教材
②磁路—高等学校—教材 IV. ①TM13②TM14

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第041540号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 电路与磁路
作 者	张常年 张萌萌 关晓菡 曲洪权 任哲 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 409千字
版 次	2011年3月第1版 2011年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

电路或电路分析课程是电类专业的重要基础课，一直为各高等学校所重视，是教学改革的重点。特别是在我国高等教育进入大众教育阶段以来，面对新情况和新形势，迫切需要对传统教材进行改革，以适应新的培养目标。

依照电路课程教学基本要求及作者对当前教学改革方向的理解，本书内容仍按直流电路→交流电路→三相交流电路→非线性电路→非正弦电路→电路动态分析这个传统线索来组织，但适当地减少了电路分析与计算的内容，从而突出了对电路基本元器件及其基本电路的概念介绍。

根据上述思想和教材的编写原则，本书第1章介绍电路及电路基本定律；第2章介绍电路的基本分析方法；第3章介绍正弦交流电路，其中以介绍电容、电感这类储能元件的工作原理和特殊的电磁现象为核心，以相量和相量图为分析方法重点介绍了元器件在正弦交流电路的作用；第4章介绍三相正弦交流电路，重点介绍了三相交流电路的一些特殊问题，并通过三相电路的分析加强了相量图分析方法的训练；第5章介绍自感、互感及磁路，从元器件的内部进一步阐述自感的工作机理并引出互感及磁路；第6章介绍非线性电阻电路分析，其中介绍了非线性电路的基本概念以及非线性电路的主要基本分析方法；第7章介绍了非正弦周期电路，并介绍了叠加定理在电路分析中的实际应用；第8章介绍了二端口网络，目的使学生了解从宏观角度分析电路的一些基本思想和相关技术方法；第9章介绍动态电路的暂态过程，重点从能量交换及分配的角度介绍了电容电感这类储能元件在电路中的作用及其工作特点。

本书的编者为：张常年、张萌萌、关晓菡、曲洪权和任哲。全书由任哲老师统筹与校对。此外，感谢李正熙教授对本书一直以来的关心与指导，还要感谢李颖红教授、徐继宁副教授和史运涛副教授为本书所做的贡献。

鉴于作者的水平所限，本书一定存在着各种各样的缺点和错误，也有些观点需要进一步探讨，所以敬请读者来信沟通、批评。

另外，在编写过程中本书参考了大量的参考文献及网上资料并选取了其中的一些例题，在此特向这些文献、资料的作者表示衷心的感谢。

编者

2010年8年

目 录

前言

第 1 章 电路及电路基本定律	1
1.1 电路的概念	1
1.2 电路基本物理量	2
1.3 功与功率	6
1.4 电路元件	7
1.5 理想元件及电路模型	15
1.6 基尔霍夫定律	16
习题	20
第 2 章 电路的基本分析方法	24
2.1 串、并联电路的分析方法	24
2.2 电阻的星形/三角形连接及其变换	29
2.3 电源模型的变换	32
2.4 电路基本分析方法	33
2.5 叠加定理	37
2.6 戴维南定理和诺顿定理	39
2.7 替代定理和互易定理	42
2.8 对偶原理	46
2.9 最大功率传输定理	47
2.10 受控源电路及其分析方法	48
习题	55
第 3 章 正弦交流电路	59
3.1 正弦量及其三要素	59
3.2 相量法	64
3.3 电路元件的正弦响应	72
3.4 阻抗和导纳	78
3.5 正弦稳态交流电路的分析	82
3.6 正弦交流电路的容性和感性	89

3.7 谐振	93
3.8 正弦交流电路的功率和功率因数	100
习题	106
第4章 三相正弦交流电路	110
4.1 三相正弦交流电	110
4.2 三相电源及三相负载的连接	113
4.3 对称三相电路的分析方法	118
4.4 非对称三相电路分析基础	122
4.5 三相电路的功率	126
习题	132
第5章 自感、互感及磁路	134
5.1 电磁感应	134
5.2 自感	136
5.3 互感	138
5.4 含有耦合电感的电路	144
5.5 互感的典型应用——变压器	149
5.6 磁路、磁路介质及磁路基本定律	156
5.7 直流磁路的计算	163
5.8 交流铁芯线圈	168
5.9 电磁铁	179
习题	182
第6章 非线性电阻电路分析	187
6.1 非线性电路的概念	187
6.2 非线性电阻电路的图解法	189
6.3 小信号分析法	190
习题	193
第7章 非正弦周期电路	195
7.1 非正弦周期信号的概念	195
7.2 非正弦周期信号及其分解	196
7.3 非正弦周期量的有效值及平均值	203
7.4 非正弦周期电流电路的平均功率	204
7.5 线性电路中非正弦周期信号的稳态分析	205
习题	209
第8章 二端口网络	212
8.1 二端口网络	212
8.2 二端口网络的Y(导纳)参数模型	213

8.3 二端口网络的 Z (阻抗) 参数模型	218
8.4 二端口网络的传输参数模型	220
8.5 二端口的 H 参数模型	223
8.6 二端口四种参数之间的关系	224
8.7 互易二端口网络的等效电路	226
8.8 二端口网络的级联	228
习题	230
第 9 章 动态电路的暂态过程	233
9.1 概述	233
9.2 一阶电路的零状态响应	237
9.3 一阶电路的零输入响应	241
9.4 一阶电路的全响应及三要素法	243
9.5 二阶电路暂态过程	249
习题	259
附录 A 拉普拉斯变换在电路分析中的应用	263
A.1 拉普拉斯变换复习	263
A.2 应用拉普拉斯变换分析线性电路	267

第 1 章 电路及电路基本定律

众所周知，大多数现代设备都离不开电工电子技术的支持，而电工电子技术的基础和核心便是电路技术。

本章主要内容：

- 电路的基本概念和电路物理量。
- 电路元件、理想元件及电路模型。
- 基尔霍夫定律。

1.1 电路的概念

电路是人们为电流的流通而设计的通路，这个通路至少有一个闭合通路以形成电流回路。

从组成来看，电路都由电路元件通过导线连接而成，如图 1-1 (a) 所示的手电筒。手电筒的电气元件有电池、灯泡、开关，导线把它们连接起来，形成了一个最简单的照明电路。

电路可分成三个基本组成部分：电源、负载和中间环节。所谓电源，就是电路工作所需要的电能来源（例如手电筒中的电池），它是一种可以将其他形式能量（化学能、热能、风能、核能等）转换为电能或电信号的元件；电路中那些需要电能的用电元件叫做负载（例如手电筒中的电灯泡），在电源作用下负载上会产生电压和电流，大多数负载能将电能转换为其他形式的能量（例如电灯泡把电能转换成了光能和热能）。

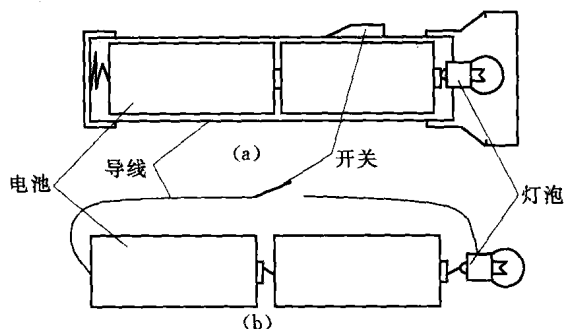


图 1-1 手电筒电路

由于负载所产生的反应由电源所引起，所以电源也叫做激励源或激励，由激励产生的元件上的电流、电压就叫做响应。通常情况，激励叫做输入，响应叫做输出。

除了电源与用电元件之外，电路中通常还会有一些控制元件，它们在电路中起着传输、分配能量以及控制和保护电气设备的作用。例如，手电筒中的电源开关以及工业控制设备中为了长期安全工作电路所需要一些保护装置（如熔断器、热继电器、空气开关等）。

1.2 电路基本物理量

描述电路的物理量有电流、电位、电位差、电压、电功率等。其中，最基本的电路物理量为电流和电压，它们是计算其他电路物理量的基础。

1.2.1 电流、电压

1. 电流

电流是带电粒子（电子、离子等）的有向运动。通常规定，正电荷的运动方向为电流方向。在电路技术中，电流主要存在于具有物理边界的导电介质之中，如图 1-2 所示。

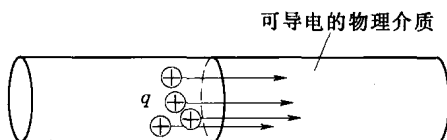


图 1-2 电流的概念

衡量电流大小的量叫做电流强度，用符号 i 表示，它等于单位时间内通过导电介质截面的电荷量，即

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

式中： dq 为通过导电介质界面的电荷量； dt 为通过 dq 所需要的时间。

在实际应用技术中，根据电流的流动方向是否随时间变化，电流分为直流和交流。如果电荷沿着一个不变的方向流动，那么这种电流叫做直流。常见的电池所提供的电流就是直流。如果电流的方向和大小都在变化，那么这种电流叫做交流。交流电的示意图如图 1-3 所示。

由图 1-3 可知，因交流电流（压）的瞬时方向是交变的，因此在表示交流电流（压）的实际方向时需要人为地指定一个正方向，如果交流电流（压）的实际瞬时方向与这个指定方向一致，那么这个交流电流（压）就为正，反之则为负。

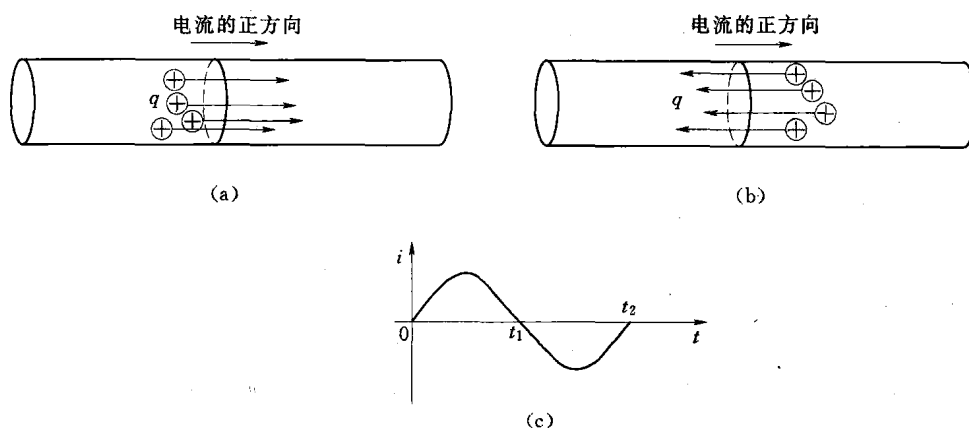


图 1-3 交流电示意图

(a) $0 \sim t_1$ 期间电流的方向；(b) $t_1 \sim t_2$ 期间电流的方向；(c) 电流波形

电路理论中，用大写英文字母表示恒定的直流电流，用小写英文字母来表示随时间变化的电流。

在式 (1-1) 中, 当电量的单位采用国际单位制库仑 (C)、时间的单位用国际单位制秒 (s) 时, 电流的单位为国际单位制安培 (A)。

电流还有较小的单位毫安 (mA)、微安 (μA) 和纳安 (nA), 它们之间的换算关系为

$$1\text{A}=10^3\text{mA}=10^6\mu\text{A}=10^9\text{nA}$$

2. 电源及电动势

电路中用来提供电能的单元或装置叫做电源。典型的电源有电池、汽轮发电机、水轮发电机、原子能发电机、太阳能电池板等。

电源通常也是一段导电介质, 但该导电介质中的带电粒子 (例如正电荷) 可以在非电能 (太阳能、机械能、化学能等) 产生的非电场力作用下移动到电源的一端以形成电源正极, 而损失了正电荷的一端就成为了电源的负极。随着电荷在电源两极的积累, 电源内部的电场力就会越来越大, 当电场力与引起电荷移动的非电场力平衡时, 电源就在两极之间形成了一个稳定的电动势, 如图 1-4 (a)、(b) 所示。

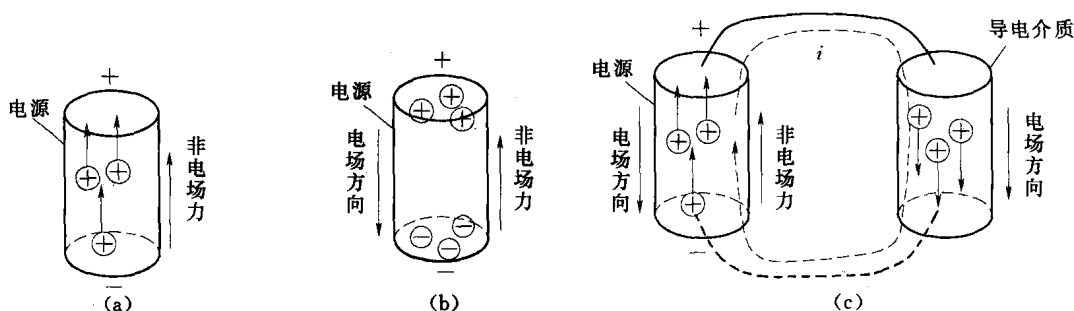


图 1-4 电源的基本概念

(a) 非电力移动正电荷; (b) 电场力与非电场力平衡; (c) 电场力在外部导电介质中产生电流

如图 1-4 (c) 所示, 在电源正负极之间连接上一个电路, 那么电源就会在电动势的作用下迫使积累在正极的电荷流过电路, 而在电源内部则会因电场力与非电场力的平衡被打破, 非电场力大于电场力, 并把正电荷从电源负极移动到正极形成电源内部电流。即电源与外电路形成了一个回路, 电流从电源的正极流出, 负极流入, 而用电电路则是电流从正极流入, 负极流出。

正因为电流从电源的正极流出, 负极流入, 所以也就习惯地将电源的正极看做高位, 负极看做低位, 于是从电源内部来看, 电源的作用就是靠非电场力把正电荷从低位提升到低位, 从而使正电荷具有一定的势能。用来描述电源势能大小的物理量叫做电势, 用字符 e (交流) 或 E (直流) 表示, 单位为伏特 (V), 并规定电动势的方向由负极指向正极。

3. 电位

综上所述可知, 正电荷在电路中的移动过程实质上就是电动势不断损失的过程。因此相对于某一个参考点来说, 电路中的各点就具有不同的势能, 这种相对的势能叫做电位, 其单位也为 V。

为了保证电位的唯一性, 一个电路只能指定一个参考点, 并认为其电位为零。电路其他点的电位均根据这个基点来确定, 如图 1-5 所示。

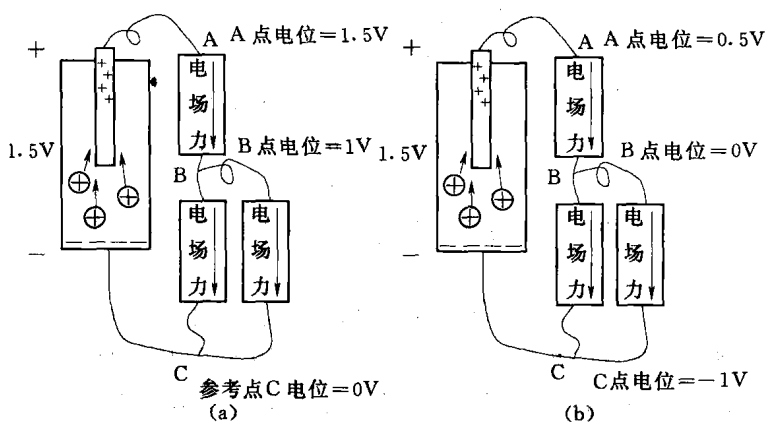


图 1-5 电路中各点的电动势为电位

(a) 参考点为 C; (b) 参考点为 B

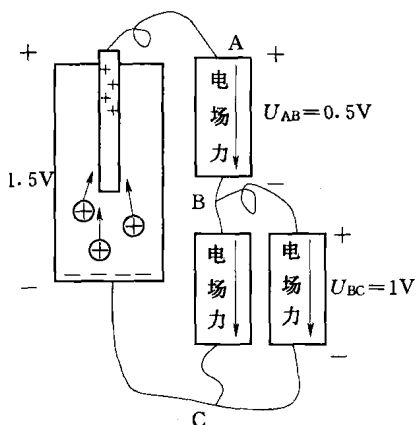


图 1-6 图 1-5 电路中的电压

通常情况，电力系统选择大地作为参考点，并在电路图中用“接地”符号（“ $\perp$ ”）表示。在电子电路中，经常以机箱（或电气柜柜体）作为参考点，习惯上，电路图上也以“ $\perp$ ”符号来表示参考点。

4. 电压

在电路的实际分析工作中，使用得更多的物理量并不是电位，而是电路中两点之间的电位差，这个电位差叫做电压，并规定其方向为电位的下降方向，电压的单位亦为 V。因为电压的方向为电位的下降方向，所以工程上也把电压叫做电压降或压降。

如图 1-5 所示电路的电压如图 1-6 所示。

1.2.2 电流、电压的参考方向

1. 参考方向

由于电流与电压均有方向，故此在对电路进行分析之前，必须事先指定它们的方向。在实践中，有些电路支路的电流、电压方向比较容易确定，但有些则较难，如图 1-7 所示电路中电阻 R_5 的电流方向就难以确定。

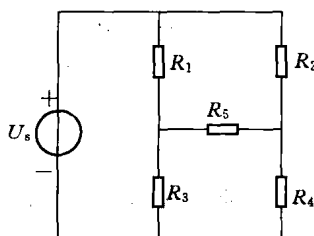


图 1-7 不易确定电流实际方向的电路

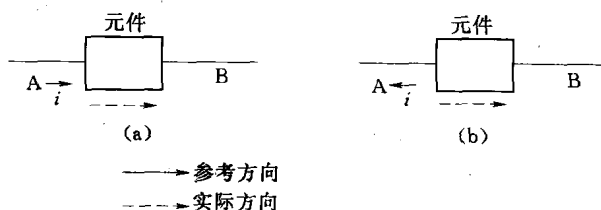


图 1-8 电流的参考方向

(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

为了在尚不知晓电流、电压实际方向之前,使电路分析工作能够得以进行,可以先为电流或电压假定一个正方向,这个假定正方向便叫做参考方向。在参考方向下,经计算得到的实际电流或电压如果是负值,则意味着电流或电压的实际方向与参考方向相反,否则与参考方向相同。

以图 1-8 实箭头表示的电流参考方向为例,当电流实际方向(虚箭头)与参考方向一致时,则电流为正值,否则为负值。

习惯上,使用箭头来标注电流的参考方向,该箭头可以标注在电流的导线上(如图 1-8 所示),也可以标注在导线旁边。电压参考方向则有三种标注法:箭头标注法,符号标注法,下标标注法,如图 1-9 所示。

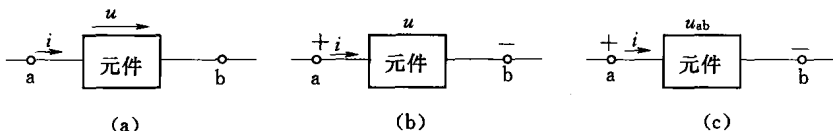


图 1-9 电压的参考方向及标注法

(a) 箭头标注法; (b) 符号标注法; (c) 下标标注法

2. 关联参考方向

原则上讲,元件或支路的电流和电压参考方向可以独立地任意指定,但同一个元件上的电流和电压毕竟是两个具有关系的物理量,如果在指定参考方向时考虑了这种关系,那么会给后面的电路分析带来很大方便。由于大多数情况下,同一个电路元件的电压和电流会具有相同的方向,所以在定义一个元件的电压和电流参考方向时,最好将它们定义为相同的方向。为了叙述方便,人们把按这种方法定义的参考方向称为关联参考方向,如图 1-10 所示。

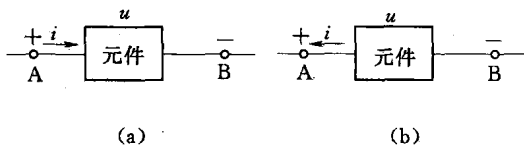


图 1-10 关联与非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

例 1-1 电路如图 1-11 (a) 所示,试为该电路中的各个电阻元件标注关联参考方向。

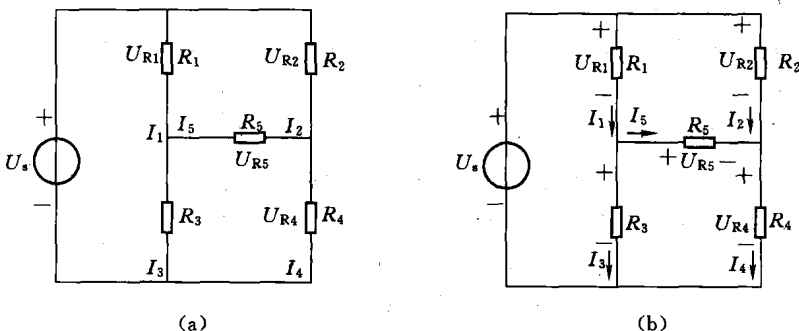


图 1-11 例 1-1 电路图

解: 按照参考电流方向与参考电压方向一致的原则,标注了关联参考方向的电路如图 1-11 (b) 所示。

1.3 功 与 功 率

在用电元件内部, 电源所产生的电场力将驱使正电荷从高电位端经元件移动到低电位端, 即电场力在对电荷做功, 从而把电能提供给用电元件。如果元件两端的电压为 u , 那么电源对该元件所做的功为

$$dw = u dq \quad (1-2)$$

因为 $i = \frac{dq}{dt}$, 所以在元件电流 i 与电压 u 为关联参考方向的条件下, 式 (1-2) 可以写成

$$dw = u i dt \quad (1-3)$$

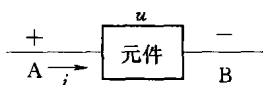
当 u 单位为伏特 (V), i 单位为安培 (A), t 单位为秒 (s) 时, w 的单位为焦耳 (J)。在工程上, 通常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 来作为功的单位。

单位时间内电流所做的功称为电功率, 即

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-4)$$

电功率的单位为瓦特 (W)。

另外, 从式 (1-3) 和式 (1-4) 还可以看出, 用电元件并不是任何时刻都在吸收电能。因为当元件电压 u 与电流 i 的方向相同时, 式 (1-3) 和式 (1-4) 的计算结果为正, 意味着电场力在对正电荷做功, 元件吸收电能; 否则式 (1-3) 和式 (1-4) 的计算结果为负, 意味着电场力在对正电荷做负功, 元件向外释放电能。



例 1-2 元件如图 1-12 所示。现已知电流 i 的实际方向为自 A 点到 B 点, 其值为 2A, 试求:

(1) 元件两端的电压 u 为 5V 时, 元件所吸收的功率。

图 1-12 例 1-2 题图

(2) 元件两端的电压 u 为 -5V 时, 元件所吸收的功率。

解: (1) 因为元件采用了关联参考方向, 且 $p = ui = 2 \times 5 = 10$ (W), 为正值, 所以元件所吸收的功率为 10W。

(2) 因为元件采用了关联参考方向, 且 $p = ui = 2 \times (-5) = -10$ (W), 为负值, 所以元件吸收的功率为 -10W, 实际发出功率 10W。

例 1-3 直流电路如图 1-13 所示。已知 $U_1 = 4\text{V}$, $U_2 = -2\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$, $I = 2\text{A}$, 求各元件吸收或提供的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

解: 元件 1 的电压参考方向与电流参考方向相关联, 故

$$P_1 = U_1 I = 4\text{V} \times 2\text{A} = 8\text{W} (\text{吸收 } 8\text{W})$$

元件 2 和元件 3 的电压参考方向与电流参考方向非关联, 故:

$$P_2 = -U_2 I = -(-2)\text{V} \times 2\text{A} = 4\text{W} (\text{吸收 } 4\text{W})$$

$$P_3 = -U_3 I = -6 \times 2\text{A} = -12\text{W} (\text{提供 } 12\text{W})$$

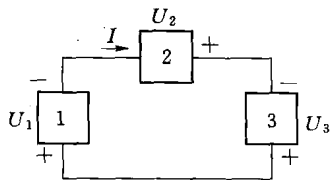


图 1-13 例 1-3 题图

整个电路的功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (8 + 4 - 12) \text{ W} = 0 \text{ W}$$

在电路中，各种电气器件（电灯、电烙铁、电阻器等）都有所谓的额定值，例如额定电压、额定电流和额定功率等。器件在额定数值下才能正常、合理可靠地工作。例如，电压过高时器件容易损坏，过低时则功率不足（电灯变暗、电烙铁温度较低等）。使用电气器件时不应超过其额定电压、电流或额定功率，否则时间稍长就可能因过热而烧坏器件。由于功率、电压和电流之间有一定的关系，所以没有必要给出全部的额定值。例如，对灯泡、电烙铁等具有电压限额的器件，通常只给出额定电压和额定功率，而对于电阻器除电阻值外，只给出额定功率。

例 1-4 已知某实验室有额定电压 220V、额定功率 100W 的白炽灯 12 盏，另有额定电压 220V、额定功率 2kW 的电炉两台，都在额定状态下工作。

求：总功率、总电流和在 2h 内消耗的总电能。

解：总功率为

$$P = (100 \times 12 + 2000 \times 2) \text{ W} = 5200 \text{ W} = 5.2 \text{ kW}$$

总电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5200}{220} \text{ A} = 23.6 \text{ A}$$

总电能为

$$W = Pt = 5.2 \times 2 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10.4 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.4 电 路 元 件

具有简单电磁特性的元件叫做电路元件，它通过其端子与外部连接，是构建复杂电路的基本单元。除了电源之外，电路中的最基本元件有电阻、电容和电感三类，其中电阻是耗能元件，而电容和电感是储能元件，它们具有截然不同的电磁特性和电路表现。

1.4.1 电阻元件

电阻通常为一种二端元件，在电场力作用下，这种元件中会产生电流。例如，日常生活中常见的电阻为白炽灯、电炉等。

1. 电阻元件的伏安特性

电阻元件的特性为

$$u = f(i)$$

电阻的特性是平面上的一条过原点曲线，如图 1-14 所示。

如果电阻元件的特性为如图 1-15 (a) 所示的过原点直线，那么电阻元件的特性可写为

$$u = Ri$$

这种电阻叫做线性电阻元件， R 为线性电阻的电阻值，单位为欧姆 (Ω)。

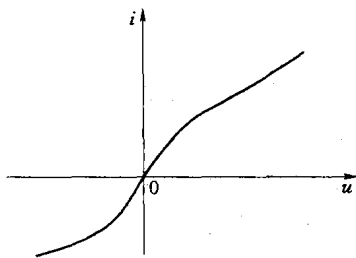
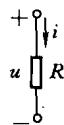
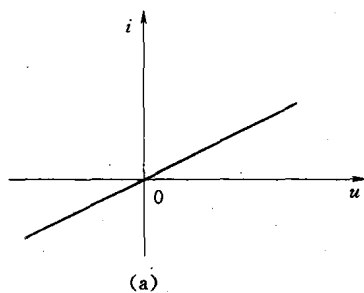


图 1-14 电阻元件的特性



(b)

图 1-15 线性电阻元件 (伏安) 特性及其电路符号

(a) 特性; (b) 电路符号

2. 电导

需要时也可以把电阻元件电流和电压的关系写成如下形式, 即

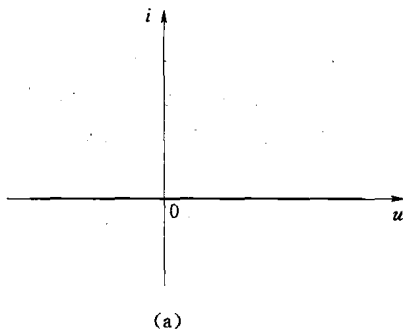
$$i = Gu$$

其中 $G = \frac{1}{R}$, 称作电导, 单位为西门子 (S)。

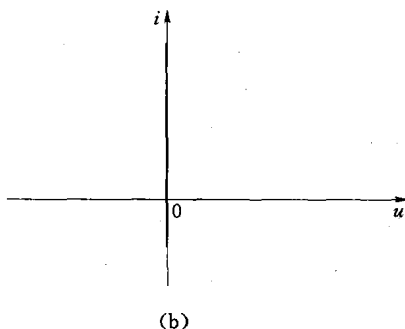
3. 开路与短路

无论一个支路上的电阻元件的端电压为何值, 流过它的电流恒为零时, 则该电阻值 $R = \infty$ (即 $G = 0$), 该支路为“开路”状态。在 $u-i$ 平面上, 开路电阻元件的伏安特性曲线与电压轴重合, 见图 1-16 (a)。

无论流过一个电阻元件的电流为何值时, 它的端电压恒为零时, 则该电阻值 $R = 0$ (即 $G = \infty$), 该支路为“短路”状态。在 $u-i$ 平面上, 短路电阻元件的伏安特性曲线与 i 电流轴重合, 见图 1-16 (b)。



(a)



(b)

图 1-16 开路与短路特性

(a) 开路特性; (b) 短路特性

4. 电阻的电功率

当电压 u 和电流 i 取关联参考方向时, 电阻元件消耗的功率为

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

由于 R 和 G 为正实常数, 功率 p 恒为正值, 所以电阻元件是一种耗能元件, 其所吸收的电能通常转换成了热能或光能。

1.4.2 可以存储电能的元件——电容

顾名思义，电容器是用来储存电荷的容器，在电路中用来存储电能。

1. 电容元件的结构

电容元件的结构如图 1-17 (a) 所示，它由中间隔以绝缘介质的两块导电介质构成，其绝缘物可以是云母、绝缘纸、电解质、空气等。电容元件的电路符号如图 1-17 (b) 所示。

2. 电容元件的充电和放电过程

如果按如图 1-18 (a) 所示组成电路，那么当开关 S 接通 a 点后，由于电容电压 u_C 为零，故在电路中要产生电流 i 并把正电荷注入电容极板 A，极板 A 带正电，极板 B 带负电。随着电荷在极板 A 和 B 上的不断蓄积，A、B 两极板之间电位差 u_C 就不断增加，直到 u_C 与电源电压相等，才会使 $i=0$ ，从而停止电荷的蓄积过程。电荷的蓄积过程就是电容两端电压的建立过程，电容两端的电压反映了电容中电能的多少。

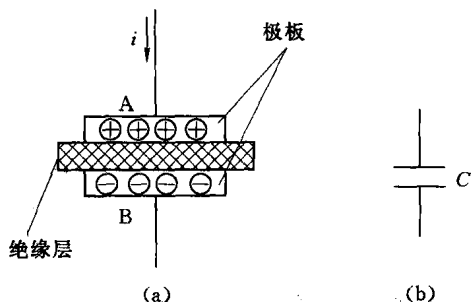


图 1-17 电容器

(a) 电容器的结构；(b) 电容器的电路符号

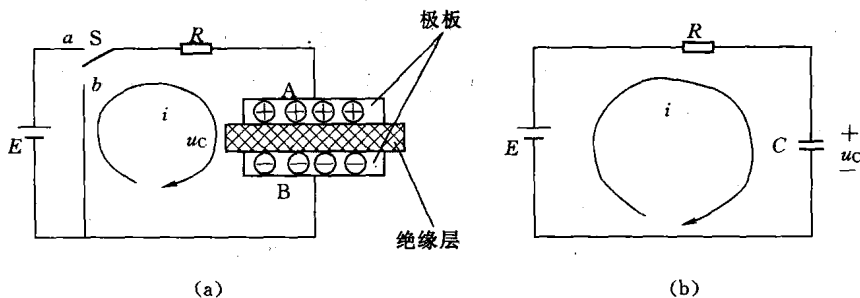


图 1-18 电容器的充电

(a) 电容器的充电状态；(b) 电容器的充电电路

通过对电容充电过程的描述还可以知道，因电容两个电极板之间存在着绝缘物，充电电流只是把电荷堆积到了两个极板并没有通过极板，所以电容并不消耗能量。另外，一旦电容的电压足以使外部电流为零，那么电容的充电过程也就结束，电容相当于开路。

可以想象得到，经过充电的电容相当于一个电源，在满足条件时它能向电路的其他元件放电。电容的放电电路如图 1-19 (a) 所示，如果电容已被充电，那么当把开关 S 投向 b 端，这时的电容就从而会通过接通的回路向电阻 R 供电而产生放电电流 i ，如图 1-19 (b) 所示。

但要注意，电容并不是一个真正的电源，它仅是把正极所存储的电荷释放回负极，因此电容上的电压会随着放电过程逐渐降低，最后和外电路电压平衡。电容放电过程终止后，电容的外电流为零，电容相当于开路。

综上所述，电容元件是一种可以存储电能的元件，它与电阻之间的重大区别就在于它的电压方向和电流方向并不是始终相同，充电时方向相同，吸收能量，放电时方向相反，释放能量。另外，电容只在充电和放电过程中才在电路中有所表现和作为，其余时间都相当于开路。

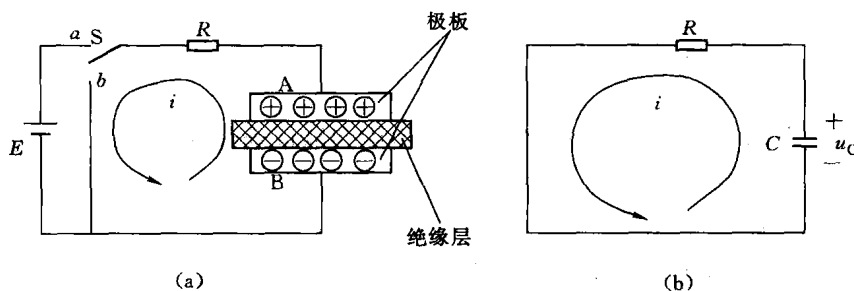


图 1-19 电容器的放电

(a) 电容器的放电状态; (b) 电容器的放电电路

3. 电容的容量

衡量电容器大小的参数叫做电容量或电容, 它表示了电容存储电荷的能力, 用英文字母 C 表示, 为

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-5)$$

其意义为: 在电容两极板之间产生单位电压所需的电荷量。

当 q 的单位为库仑 (C), u 的单位为伏特 (V) 时, C 的单位为法拉 (F)。实际电容器的电容量往往比法拉小得多, 因此通常采用微法 (μF) 和皮法 (pF) 的单位, 它们之间的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

当电容器的电容量 C 是一个与电压大小无关的常量时, 称为线性电容。如果把式 (1-5) 写成

$$u = \frac{1}{C} q \quad (1-6)$$

线性电容的特性曲线如图 1-20 所示。

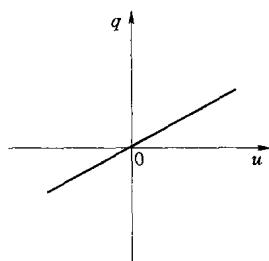


图 1-20 线性电容的特性曲线

4. 电容元件电压与电流之间的关系

在电路分析中, 人们感兴趣的并不是电容极板上所存储的电荷, 而是“流过”电容的电流和电容两端的电压 (注意, 这里之所以把流过两个字加了引号, 就是因电容两极板间有绝缘而根本不能流过电流, 即电容只有两种电流: 充电电流和放电电流)。

当电容电压 u 和电流 i 为关联参考方向时 (如图 1-21 所示), 由 $q = Cu$ 便可得电容电压 u 和电流 i 的关系如下

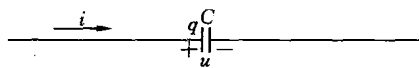


图 1-21 电容的电压和电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-7)$$

即电容的电流与电压的变化率成正比。

由于式 (1-7) 还可写成

$$du = \frac{1}{C} i dt$$