

SCHAUM'S
ouTlines

全美经典 学习指导系列

电路

〔美〕J. 埃德明斯特 M. 奈维 著

韩光胜 许怡生 译

涵盖全部课程基础

364道精选习题及其详解

334道补充习题及其答案

迅速提高解题能力

自学的最佳参考书



科学出版社

麦格劳-希尔教育出版集团

全美经典学习指导系列

电 路

[美]J. 埃德明斯特 M. 奈维 著

韩光胜 许怡生 译

科 学 出 版 社

麦格劳-希尔教育出版集团

2 0 0 2

内 容 简 介

本书重点介绍电路的基本定律、定理及电路的原理与解题技巧,并对以前版本的原有内容进行了修改与适时更新。每章首先介绍相关的定义、原理以及典型例题,然后配有问题解答和补充习题,习题涵盖了各种难易程度的重点问题,可以帮助学生更好地掌握电路的基本原理。

本书可作为工程与技术专业电路分析课程的教材或补充教材,也可供电气工程专业或其他专业学生参考。

Joseph Edminister, Mahmood Nahvi: Schaums Outlines Electric Circuits, Third Edition

ISBN: 0-07-018999-4

Copyright © 1997 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Authorized translation from the English language edition published by McGraw-Hill, Companies, Inc.

All rights reserved.

本书中文简体字版由科学出版社和美国麦格劳-希尔国际公司合作出版,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图字:01-2001-1770

图书在版编目(CIP)数据

电路/[美]埃德明斯特(Edminister, J.)著;韩光胜等译.-北京:科学出版社,2002

(全美经典学习指导系列)

ISBN 7-03-009727-0

I. 电… II. ①埃… ②韩… III. 电路 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 057062 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 1 月 第 一 版 开本: A4 (890×1240)

2002 年 1 月 第一次印刷 印张: 23

印数: 1—5 000 字数: 657 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书可作为电气工程专业和其他工程与技术专业电路分析课程的教材或补充教材. 本书重点介绍电路的基本定律、定理及电路的解题技巧, 这对于大多数课程都是通用的.

作为本书的第三版, 我们对原有内容进行了修订和适时更新. 全书共分 17 章, 书中引入了现有理论和研究成果. 每章开始部分为相关的定义、原理、定理以及典型例题. 接下来是问题的解答和补充习题. 习题难易程度不同, 一些习题着重涉及某些关键问题, 这将帮助学生更好地应用基本原理. 本书补充习题较多, 每道习题后面均给出了答案, 这可以使读者有机会训练自己的解题技巧.

本书第一部分为基本定义, 包括有受控源在内的电路元件, 电路定律、定理以及电路的分析方法, 如节点电压法、网孔电流法等. 这些定理和解题方法首先用于直流电阻电路, 然后引入阻抗和复频率, 最后推广至 RLC 电路. 第 5 章放大器和运算放大电路是新增的内容. 运算放大器的例题和习题是为了说明简单实用的概念而精心筛选出来的, 这些内容在学生的后续课程中是重要的, 并且是令人感兴趣的. 为了提高学生关于常用信号模型的知识, 本书新增加了波形与信号一章即第 6 章.

第 7 章主要讨论一阶电路响应, 如稳态响应, 以及对阶跃函数、脉冲函数、冲激函数和指数函数输入的暂态响应. 第 8 章讨论高阶电路, 介绍了复频率的概念. 以后几章覆盖了相量分析、正弦稳态分析、功率、功率因数和多相电路, 以及网络函数、频率响应、滤波器、串并联谐振、二端口网络、互感器和变压器等内容. 第 15 章介绍了 Spice 和 PSpice 在电路分析中的应用. 电路方程采用经典微分方程和拉普拉斯变换进行求解, 以便于比较. 第 17 章的内容主要是傅里叶级数和傅里叶变换以及它们在电路分析中的应用. 最后两个附录概略地给出了复数系统、矩阵和行列式的有关知识.

本书是为广大学生编写的, 从他们身上我们将探索如何把课程教得更好. 在很大程度上, 正是这些学生使得教育工作更加令人满意和富有意义. 在此, 我们向 McGraw-Hill 和 MathSoft 公司表示感谢, 尤其感谢 John Carleo 和 David Leschinsky, 他们富有前瞻性地出版了本书的电子版, 它是基于 Mathcad 这一先进的计算软件的交互式版式. 最后, 感谢我们的妻子 Nina Edminister 和 Zahra Nahvi 长期以来的支持, 以及所有为之付出努力的人们.

J. 埃德明斯特
M. 奈维

目 录

前言

第 1 章 导论	(1)
1.1 电量和国际单位制	(1)
1.2 力、功和功率	(2)
1.3 电荷与电流	(2)
1.4 电位	(3)
1.5 电能和电功率	(3)
1.6 常量与变量	(3)
习题及解答	(4)
第 2 章 电路基本概念	(6)
2.1 无源元件与有源元件	(6)
2.2 符号约定	(6)
2.3 电压-电流关系	(7)
2.4 电阻元件	(8)
2.5 电感元件	(9)
2.6 电容元件	(9)
2.7 电路图	(10)
习题及解答	(11)
第 3 章 电路定律	(16)
3.1 引言	(16)
3.2 基尔霍夫电压定律	(16)
3.3 基尔霍夫电流定律	(16)
3.4 电路元件的串联连接	(16)
3.5 电路元件的并联连接	(17)
3.6 分压	(18)
3.7 分流	(18)
习题及解答	(19)
第 4 章 电路的分析方法	(23)
4.1 支路电流法	(23)
4.2 网孔电流法	(23)
4.3 矩阵和行列式	(24)
4.4 节点电压法	(25)
4.5 输入电阻	(26)
4.6 转移电阻	(27)
4.7 电路化简	(27)
4.8 叠加原理	(28)
4.9 戴维南与诺顿定理	(29)
4.10 最大功率传输定理	(31)
习题及解答	(31)
第 5 章 放大器和运算放大器电路	(42)
5.1 放大器模型	(42)
5.2 放大器电路的负反馈	(43)
5.3 运算放大器	(44)

5.4 含有理想运算放大器的电路分析	(46)
5.5 反相电路	(47)
5.6 求和电路	(47)
5.7 同相电路	(48)
5.8 电压跟随器	(49)
5.9 差动与差动放大器	(50)
5.10 含有多个运放的电路	(51)
5.11 积分器与微分器电路	(52)
5.12 模拟计算机	(55)
5.13 低通滤波器	(56)
5.14 比较器	(57)
习题及解答	(58)
第 6 章 波形和信号	(73)
6.1 引言	(73)
6.2 周期函数	(73)
6.3 正弦函数	(74)
6.4 时移与相移	(76)
6.5 周期信号的合成	(77)
6.6 平均值和有效值	(78)
6.7 非周期函数	(79)
6.8 单位阶跃函数	(80)
6.9 单位冲激函数	(81)
6.10 指数函数	(82)
6.11 带阻尼的正弦波	(84)
6.12 随机信号	(85)
习题及解答	(86)
第 7 章 一阶电路	(95)
7.1 引言	(95)
7.2 通过一个电阻使电容放电	(95)
7.3 在电容器两端建立直流电压	(96)
7.4 无电源的 RL 电路	(97)
7.5 在电感中建立一个直流电流	(98)
7.6 再论指数函数	(99)
7.7 复杂的一阶 RL 电路和 RC 电路	(100)
7.8 电感和电容的直流稳态	(102)
7.9 开关切换时间的暂态过程	(103)
7.10 一阶电路的脉冲响应	(104)
7.11 RC 和 RL 电路的冲激响应	(106)
7.12 RC 和 RL 电路中的阶跃响应和冲激响应的总结	(106)
7.13 RC 和 RL 电路对突然加上的指数函数激励的响应	(107)
7.14 RC 和 RL 电路对突加正弦激励的响应	(108)
7.15 一阶电路中强迫响应的总结	(109)
习题及解答	(109)
第 8 章 高阶电路和复数频率	(120)
8.1 引言	(120)
8.2 串联 RLC 电路	(120)
8.3 并联 RLC 电路	(122)
8.4 二网孔电路	(124)
8.5 复数频率	(125)

8.6 在 s 域中的一般化的阻抗(R, L, C)	(126)
8.7 网络函数和零极点图	(127)
8.8 强迫响应	(129)
8.9 自然响应	(129)
8.10 幅值和频率的定标	(130)
习题及解答	(131)
第 9 章 正弦稳态电路分析	(141)
9.1 引言	(141)
9.2 元件响应	(141)
9.3 相量	(143)
9.4 阻抗和导纳	(144)
9.5 频率域中的分压和分流	(146)
9.6 网孔电流分析法	(146)
9.7 节点电压分析法	(148)
9.8 戴维南和诺顿定理	(149)
习题及解答	(149)
第 10 章 交流功率	(163)
10.1 时间域中的功率	(163)
10.2 正弦稳态功率	(164)
10.3 平均功率或有功功率	(165)
10.4 无功功率	(166)
10.5 R, L 和 C 的交流功率小结	(166)
10.6 电感和电容之间的能量交换	(168)
10.7 复功率, 视在功率和功率三角形	(168)
10.8 并联网络	(172)
10.9 功率因数的改善	(173)
10.10 最大功率传输	(174)
习题及解答	(175)
第 11 章 多相电路	(184)
11.1 引言	(184)
11.2 二相系统	(184)
11.3 三相系统	(185)
11.4 Y 和 Δ 系统	(185)
11.5 相量电压	(186)
11.6 平衡的 Δ 连接负载	(187)
11.7 平衡的四线 Y 连接负载	(188)
11.8 Y 和 Δ 连接的等效	(188)
11.9 平衡三相负载的单线等效电路	(189)
11.10 非平衡 Δ 连接负载	(190)
11.11 非平衡 Y 连接负载	(190)
11.12 三相功率	(192)
11.13 功率测量和两瓦特表法	(192)
习题及解答	(193)
第 12 章 频率响应, 滤波器和谐振	(202)
12.1 频率响应	(202)
12.2 高通和低通网络	(203)
12.3 半功率频率	(205)
12.4 一般化的二端口, 两元件网络	(205)
12.5 频率响应和网络函数	(206)

12.6	由零极点位置决定的频率响应	(207)
12.7	理想与实际滤波器	(207)
12.8	无源和有源滤波器	(208)
12.9	带通滤波器和谐振	(209)
12.10	自然频率和阻尼系数	(210)
12.11	RLC 串联电路, 串联谐振	(210)
12.12	品质因数	(211)
12.13	RLC 并联电路, 并联谐振	(212)
12.14	实际的 LC 并联电路	(213)
12.15	串并联转换	(213)
12.16	轨迹图	(214)
	习题及解答	(216)
第 13 章	二端口网络	(228)
13.1	端点和端口	(228)
13.2	Z 参数	(228)
13.3	互补网络的 T 等效电路	(229)
13.4	Y 参数	(230)
13.5	互补网络的 PI 等效电路	(231)
13.6	端点特性的应用	(231)
13.7	Z 参数与 Y 参数间的转换	(232)
13.8	h 参数	(233)
13.9	g 参数	(233)
13.10	传递参数	(234)
13.11	互联二端口网络	(234)
13.12	参数类型的选择	(235)
13.13	端点参数及转换的总结	(236)
	习题及解答	(237)
第 14 章	互感和变压器	(247)
14.1	互感	(247)
14.2	耦合系数	(248)
14.3	耦合线圈的分析	(248)
14.4	同名端规则	(249)
14.5	一对耦合线圈中的能量	(250)
14.6	传导耦合等效电路	(251)
14.7	线性变压器	(251)
14.8	理想变压器	(253)
14.9	自耦变压器	(254)
14.10	反射阻抗	(255)
	习题及解答	(256)
第 15 章	使用 Spice 和 PSpice 进行电路分析	(268)
15.1	Spice 和 PSpice	(268)
15.2	电路描述	(268)
15.3	一个 Spice 源文件的组成	(269)
15.4	数据语句和直流分析	(269)
15.5	直流分析中的控制和输出语句	(272)
15.6	戴维南等效电路	(274)
15.7	运算放大电路	(275)
15.8	交流稳态电路和频率响应	(278)
15.9	互感和变压器	(279)

15.10 使用可变参数的模型装置	(280)
15.11 时间响应和暂态分析	(282)
15.12 其他电源类型的说明	(283)
15.13 总结	(286)
习题及解答	(287)
第 16 章 拉普拉斯变换方法	(300)
16.1 引言	(300)
16.2 拉普拉斯变换	(300)
16.3 可选择的拉普拉斯变换	(300)
16.4 积分的收敛性	(302)
16.5 初值和终值定理	(303)
16.6 部分分式展开式	(303)
16.7 s 域中的电路	(304)
习题及解答	(306)
第 17 章 波形分析的傅里叶方法	(316)
17.1 引言	(316)
17.2 傅里叶三角级数	(316)
17.3 指数型傅里叶级数	(317)
17.4 波形的对称性	(318)
17.5 线谱	(320)
17.6 波形综合	(321)
17.7 有效值和功率	(321)
17.8 电路分析中的应用	(322)
17.9 非周期波形的傅里叶变换	(324)
17.10 傅里叶变换的性质	(326)
17.11 连续谱	(327)
习题及解答	(328)
附录 A 复数系统	(341)
A1 复数	(341)
A2 复数平面	(341)
A3 矢量算子 j	(341)
A4 复数的其他表示形式	(341)
A5 复数的和与差	(342)
A6 复数乘法	(342)
A7 复数除法	(342)
A8 一个复数的共轭值	(342)
附录 B 矩阵和行列式	(344)
B1 联立方程和特征矩阵	(344)
B2 矩阵的类型	(344)
B3 矩阵算术运算	(345)
B4 一个方阵的行列式	(346)
B5 方阵的特征值	(348)
附录 C 来自 Schaum 的电子教师指南的计算机屏幕举例	(349)

第 1 章 导 论

1.1 电量和国际单位制

本书中采用国际单位(SI)制.表 1-1 中列出了四个基本量及其在国际单位制中的单位,另外还有三个基本量及其标准单位没有在该表中列出.这三个量分别为:温度,单位为开尔文(K);物质的量,单位是摩尔(mol);发光强度,单位是坎德拉(cd).

表 1-1

量	符号	(SI)单位	缩写
长度	L, l	米	m
质量	M, m	千克	kg
时间	T, t	秒	s
电流	I, i	安培	A

其他所有单位都可从这七个基本单位派生出来.表 1-2 列出了在电路分析中常用的物理量及其符号.

表 1-2

单位	符号	(SI)单位	缩写
电荷	Q, q	库仑	C
电位	V, v	伏特	V
电阻	R	欧姆	Ω
电导	G	西门子	S
电感	L	亨利	H
电容	C	法拉	F
频率	f	赫兹	Hz
力	F, f	牛顿	N
能量, 功	W, w	焦耳	J
功率	P, p	瓦特	W
磁通	Φ	韦伯	Wb
磁通密度	B	特斯拉	T

另外两个辅助变量是平面角(在电路分析中又称为相角)和立体角,相应的国际单位分别为弧度(rad)和球面度(sr).

正弦函数经常用角度作为相角的单位.如: $\sin(\omega t + 30^\circ)$.由于 ωt 表示的是弧度,因此这是一个混合单位的例子.

应尽可能使用国际单位制的十进位倍数及约量.表 1-3 中列出的符号可作为前缀加在表 1-1 和表 1-2 单位符号的前面.如 mV 即为毫伏、 10^{-3} 伏,而 MW 为兆瓦、 10^6 瓦.

表 1-3

词头名称	因次	符号
皮	10^{-12}	p
纳	10^{-9}	n
微	10^{-6}	μ
毫	10^{-3}	m
厘	10^{-2}	c
千	10^3	k
兆	10^6	M
吉	10^9	G
太	10^{12}	T

1.2 力、功和功率

以上派生出的单位满足与这些变量相关的数学表达式.从“力等于质量乘以加速度”可知,1 牛顿就是使 1 千克质量的物体以 1 米/秒^2 的加速度运动的力,即

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$$

力作用下通过一段距离时就产生功.1 焦耳等于 1 牛顿·米,即 $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$.功和能量的单位相同.

功率是做功的速率或能量从一种形式转化为另一种形式的速率.功率的单位是瓦特(W),也就是每秒 1 焦耳(J/s).

例 1.1 一个质量为 10 kg 的物体,以 2.0 m/s^2 恒加速度作简单直线运动.(a)求作用力 F ;
(b)如果在 $t=0, x=0$ 时,物体静止不动,求 $t=4 \text{ s}$ 时的位置、动能和功率.

$$(a) \quad F = ma = (10 \text{ kg})(2.0 \text{ m/s}^2) = 20.0 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 20.0 \text{ N}$$

$$(b) \quad \text{当 } t = 4 \text{ s}, x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(2.0 \text{ m/s}^2)(4 \text{ s})^2 = 16.0 \text{ m}$$

$$\text{KE} = Fx = (20.0\text{N})(16.0\text{m}) = 3200\text{N} \cdot \text{m} = 3.2\text{kJ}$$

$$P = \text{KE}/t = 3.2\text{kJ}/4\text{s} = 0.8\text{kJ/s} = 0.8\text{kW}$$

1.3 电荷与电流

电流的单位安培(A)的定义为:在两根真空中相距 1 m 且其截面忽略不计的无限长的平行导体中产生 $2.0 \times 10^{-7} \text{ N/m}$ 大小力的恒定电流.而更有用的概念为电流是由运动的电荷产生,1 A 等于在 1 s 内通过一定截面的电荷为 1 C .因此电流的时变函数形式为: $i(\text{A}) = dq/dt$ (C/s).电荷的单位库仑等价于安培·秒.

移动的电荷可以为正,也可负.如图 1-1(a)设定,液体或等离子体中的正离子向左运动,产生电流 i 的方向也指向左.当这些离子以 1C/s 的速率穿过截面 S 时,则产生的电流为 1A .图 1-1(b)显示了自左向右运动的负离子也产生方向指向左的电流.

在电路分析中更重要的是金属导体中的电流,它由原子结构最外层电子的运动产生.例如对于铜金属来说,晶状结构中最外层的一个电子受原子核的约束力很小,可自由地从一个原子

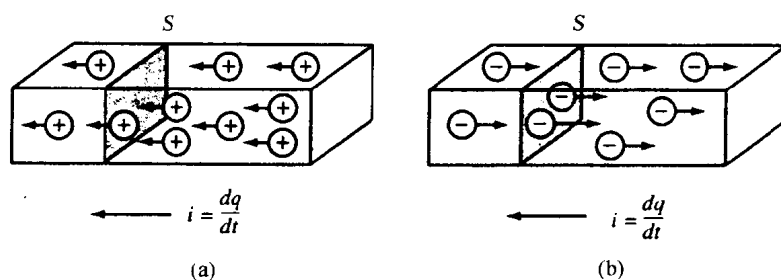


图 1-1

移动到另一个原子.在常温下这些电子持续、随机地运动.铜导体中电子的准确传导的情形为每立方米大约 8.5×10^{28} 个传导电子自由移动.由于电子电荷为 $-e = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$,因此要产生 1A 的电流大约需要每秒 6.24×10^{18} 个电子穿过导体的一定截面.

例 1.2 一导体中通过 5 A 恒定电流,在 1 min 内有多少电子通过导体中某点?

$$5 \text{ A} = (5 \text{ C/s}) (60 \text{ s/min}) = 300 \text{ C/min}$$

$$\frac{300 \text{ C/min}}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C/电子}} = 1.87 \times 10^{21} \text{ 电子/min}$$

1.4 电位

当电荷在电场中受力的作用时,如果无其他力作用,将使含有该电荷的粒子加速运动.在此我们感兴趣的是使电荷朝与电场相反的方向运动所作的功,如图 1-2(a)所示.因此如果使 1 C 的电荷 Q 从位置 0 移动到位置 1 需要 1 J 的功,那么位置 1 相对于位置 0 具有 1 V 的电位; $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$. 电位是做功的能力,如同图 1-2(b)所示的质量为 m 的物体反抗重力 g 的作用而升高到距地面高度为 h 一样.势能 mgh 表明了释放物体时所能做的功.当物体自由下落时做加速运动,势能转换为动能.

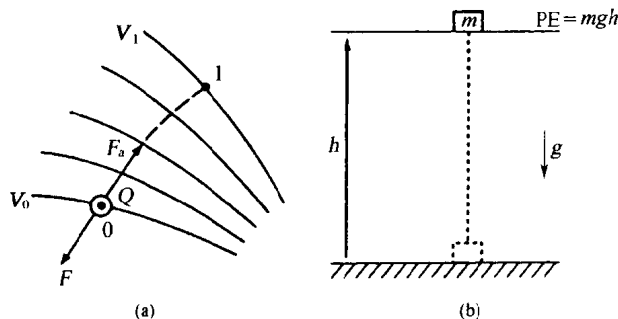


图 1-2

例 1.3 在电路中将 $0.5 \mu\text{C}$ 的电荷从 a 点移动到 b 点需要 $9.25 \mu\text{J}$ 的能量,那么两点之间的电位差是多少?

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C} \quad V = \frac{9.25 \times 10^{-6} \text{ J}}{0.5 \times 10^{-6} \text{ C}} = 18.5 \text{ V}$$

1.5 电能和电功率

电能的单位为焦耳(J),有关内容在后面学习电感和电容的章节中将会遇到,它们各自的电场、磁场都能储存能量.电能的转换速率是电功率,单位为瓦特(W),也即 J/s. 另外电功率还等于电压和电流的乘积: $P = VI$; $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$. 并且 $V \cdot A = (\text{J/C}) \cdot (\text{C/s}) = \text{J/s} = \text{W}$. 进一步讲,功率是能量对时间的微分 $P = dW/dt$, 因此瞬时功率 P 一般是时间的函数. 在后面章节中将进一步介绍当电压与电流是正弦函数时,功率在时间上的平均值 P_{avg} 及均方根值(RMS).

例 1.4 一电阻两端的电位差为 50.0 V,且每分钟有 120.0 C 的电荷通过某定点,在此条件下电能转换为热能的速率是多少?

$$(120.0 \text{ C/min}) / (60 \text{ s/min}) = 2.0 \text{ A} \quad P = (2.0 \text{ A})(50.0 \text{ V}) = 100.0 \text{ W}$$

因为 $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$, 所以能量的转换速率为 100 J/s.

1.6 常量与变量

为了区分常量和时变量,以大写字母表示常量,而以小写字母表示变量.例如,10 A 的恒定电流记为 $I = 10.0 \text{ A}$, 而 10 A 的时变电流记为 $i = 10.0 f(t) \text{ A}$. 电路分析中常用的函数例子有正弦函数 $i = 10.0 \sin \omega t (\text{A})$ 和指数函数 $v = 15.0 e^{-at} (\text{V})$.

习题及解答

- 1.1 某物体沿 x 方向运动, 有一以 $F = 12/x^2$ (N) 关系变动的力作用于其上. (a) 求 F 在 $1\text{ m} \leq x \leq 3\text{ m}$ 距离中所做的功; (b) 多大的恒力在相同距离内做功相同?

解 (a) $dW = Fdx$, 所以 $W = \int_1^3 \frac{12}{x^2} dx = 12 \left[-\frac{1}{x} \right]_1^3 = 8\text{ J}$

(b) $8\text{ J} = F_c(2\text{ m})$ 或 $F_c = 4\text{ N}$

- 1.2 在一电阻中通过的电荷为 270 C/min , 若电能以 7.56 kJ/min 的速率转换为热能, 那么电阻两端的电位差是多少?

解 由 $P = VI$ 可得

$$V = \frac{P}{I} = \frac{7.56 \times 10^3\text{ J/min}}{270\text{ C/min}} = 28\text{ J/C} = 28\text{ V}$$

- 1.3 已知某电路元件中流过电流为 $i = 2.5\sin\omega t$ (mA), 其中 ω 为角频率, 其单位为 rad/s , 两端的电位差为 $v = 45\sin\omega t$ (V). 求平均功率 P_{avg} 以及在该函数在一个周期内所转换的能量 W_T .

解 能量是瞬时功率对时间的积分

$$W_T = \int_0^{2\pi/\omega} vi\,dt = 112.5 \int_0^{2\pi/\omega} \sin^2\omega t\,dt = \frac{112.5\pi}{\omega} (\text{mJ})$$

平均功率为

$$P_{\text{avg}} = \frac{W_T}{2\pi/\omega} = 56.25\text{ mW}$$

注意 P_{avg} 与 ω 无关.

- 1.4 在用电部门, 能量的单位常使用的是千瓦时 (kWh). (a) 1 kWh 是多少焦耳? (b) 一台功率为 75 W 的彩色电视机从下午 7:00 看到晚上 11:30, 则总共消耗了多少能量? 试分别以千瓦时和兆焦耳表示.

解 (a) $1\text{ kWh} = (1000\text{ J/s})(3600\text{ s/h}) = 3.6\text{ MJ}$

(b) $(75.0\text{ W})(4.5\text{ h}) = 337.5\text{ Wh} = 0.3375\text{ kWh}$

$(0.3375\text{ kWh})(3.6\text{ MJ/kWh}) = 1.215\text{ MJ}$

- 1.5 住宅常使用电线规格为 $12^\#$ 的铜线, 如每个原子中有一个自由电子, 则每米约含有 2.77×10^{23} 个自由电子. 如果导线中通过 25.0 A 的直流, 这些电子将有百分之几能穿过定截面?

解

$$\frac{25.0\text{ C/s}}{1.602 \times 10^{-19}\text{ C/电子}} = 1.56 \times 10^{20}\text{ 电子/s}$$

$$(1.56 \times 10^{20}\text{ 电子/s})(60\text{ s/min}) = 9.36 \times 10^{21}\text{ 电子/min}$$

$$\frac{9.36 \times 10^{21}}{2.77 \times 10^{23}}(100) = 3.38\%$$

- 1.6 如将 100 W 的白炽灯接上 120 V 直流电压, 在一小时内穿过某定点的电子数是多少?

解

$$100\text{ W} = (120\text{ V}) \times I(\text{A}) \quad I = 5/6\text{ A}$$

$$\frac{(5/6\text{ C/s})(3600\text{ s/h})}{1.602 \times 10^{-19}\text{ C/电子}} = 1.87 \times 10^{22}\text{ 电子/h}$$

- 1.7 典型的 12 V 电池常以安培-小时 ($\text{A}\cdot\text{h}$) 来标定其容量, 例如一节 $70\text{ A}\cdot\text{h}$ 的电池以 3.5 A 的速度放电, 可使用 20 小时. (a) 如电压保持恒定, 计算上述电池完全放电后所释放的能量和功率. (b) 如放电速率为 7.0 A , 重复 (a).

解 (a) $(3.5\text{ A})(12\text{ V}) = 42.0\text{ W}$ (或者 J/s)

$(42.0\text{ J/s})(3600\text{ s/h})(20\text{ h}) = 3.02\text{ MJ}$

(b) $(7.0\text{ A})(12\text{ V}) = 84.0\text{ W}$

$$(84.0\text{J/s})(3600\text{s/h})(10\text{h}) = 3.02\text{MJ}$$

安培-小时是用以衡量电池所储的能量的,因此对于整个放电过程来说,无论是在10个小时内完成或是在20个小时内完成,转换的能量都是一样的.而功率是能量转换的速率,因此10小时放电发出的功率是20小时的两倍.

补充习题

- 1.8 计算 $7.5 \times 10^{-4} \text{ N}$ 的力在 14 s 内使物体移动 2 m 所做的功和发出的功率.
答案: 1.5 mJ, 0.107 mW
- 1.9 在 3.5 s 内, 将一个质量为 5.0 kg 的物体沿倾斜角为 30° 的无摩擦斜面向上移动, 其移动距离在水平线上的投影为 2.0 m, 计算功和功率.
答案: 49.0 J, 14.0 W
- 1.10 在电路中的两点间移动 8.5×10^{18} 个电子消耗的功为 136.0 J, 那么两点间的电位差是多少?
答案: 100 V
- 1.11 测得一电脉冲为 305 V, 0.15 A, 持续了 500 μs . 计算它的功率和能量.
答案: 45.75 W, 22.9 mJ
- 1.12 常以马力(hp)表示电动机的功率, 1 hp 等于 746 W. 5 hp 的电动机工作 2 小时将发出多少功率? 功率以兆焦(MJ)来表示.
答案: 26.9 MJ
- 1.13 已知当 $t \geq 0$ 时, $q = (4.0 \times 10^{-4})(1 - e^{-250t})$ (C), 计算 $t = 3 \text{ ms}$ 时的电流值.
答案: 47.2 mA
- 1.14 某电路元件的电流与电压分别为: $i = 10e^{-5000t}$ (A), $v = 50(1 - e^{-5000t})$ (V). 求 $t \geq 0$ 时刻以后所转换的总能量.
答案: 50 mJ
- 1.15 电路元件的电容值定义为 Q/V , 其中 Q 是储存在元件中的电荷量, V 是元件两端的电位差. 国际单位制中电容的单位是法拉(F). 写出由基本单位表示的法拉.
答案: $1\text{F} = 1\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 / \text{kg} \cdot \text{m}^2$

第2章 电路基本概念

2.1 无源元件与有源元件

电器装置是由电路图或网络来描述的,它们是由串联或并联联接的两端元件组成.对电路图的分析和预示实际器件的性能.二端元件的一般形式如图 2-1 所示,它们是由长方形符号及连接在 A, B 端点上的两根理想导线表示的一个器件.有源元件是指能向电路网络提供能量的电压源或电流源.电阻、电感和电容是无源元件,它们吸收电源能量,并将这些能量转化为其他形式或将它储存在电场或磁场中.



图 2-1

图 2-2 列举了七种基本电路元件.元件(a)和(b)是电压源,(c)和(d)是电流源.图 2-2(a)的圆形表示的是独立电压源,它不受所连接电路变化的影响.受控电压源要随所连接电路中的条件按一定的方式变化,以图 2-2(b)所示的菱形表示.电流源也分为独立电流源和受控电流源,相应的符号分别示于(c)和(d).图 2-2(e),(f)和(g)所示为三种无源电路元件的符号.

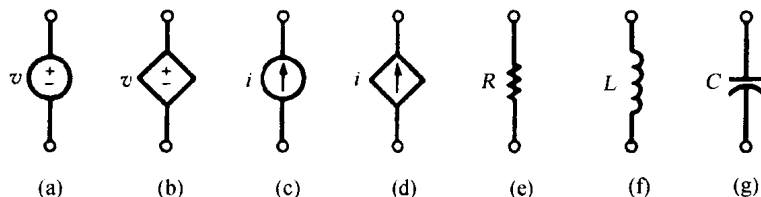


图 2-2

由于分布电阻、电感或电容常用在一个地方的某个元件来表示,所以此处表示的这些电路图为集中参数电路.比如,由绝缘导线绕制的多匝线圈中在整个导线中都分布有电阻,但是电路图 2-3(b)或(c)中用一个集中在一个地方的电阻来表示在电路中的分布电阻,而电感也作同样的集中处理,在电路中用与电阻串联(图 b)或并联(图 c)表示.

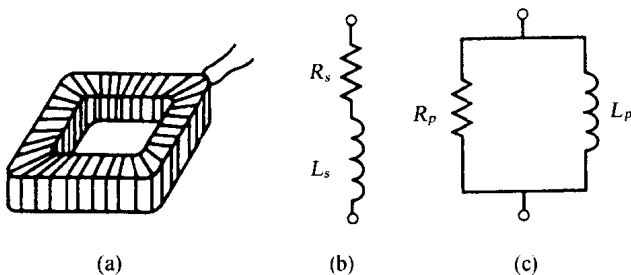


图 2-3

一般来说,线圈可以用电路元件的串联或并联形式表示.根据所加电压的频率需要用这两种形式之一表示器件.

2.2 符号约定

为完整地描述电压源,必须指出电压函数与极性.极性,用符号 $+$, $-$ 表示,置于电压源符号中导线的旁边.例如图 2-4(a), $v = 10.0 \sin \omega t$, 在正弦函数的第一个周期,当 $0 < \omega t < \pi$ 时,端点 A 相对 B 为正,而当 $\pi < \omega t < 2\pi$ 时,端点 B 相对 A 为正.与电压源类似,电流源用函数表示的同时还需要表明方向,见图 2-4(b).在图 2-4(c)所示的无源元件 R, L 和 C 中,电流流

入的一端设为正极性,而电流流出的一端为负极性端。

用图 2-5(a)的直流电路来说明功率的符号。电路由直流电压源 $V_A = 20.0\text{V}$, $V_B = 5.0\text{V}$ 和 5Ω 电阻串联组成,电路中的电流为 3.0A 呈顺时针方向。就图 2-5(b)来说,当电流从正极性端点流入时,元件吸收功率。可用 VI 或 I^2R 来计算功率,这两部分功率被电压源 V_B 和电阻吸收,分别为 45.0W 和 15W 。由于电流从 V_A 的负端流入,这一元件为电路提供功率, $P = VI = 60.0\text{W}$ 表明由电阻和电源 V_B 吸收的功率确实是由电源 V_A 提供的。

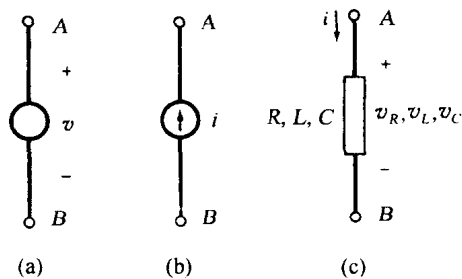


图 2-4

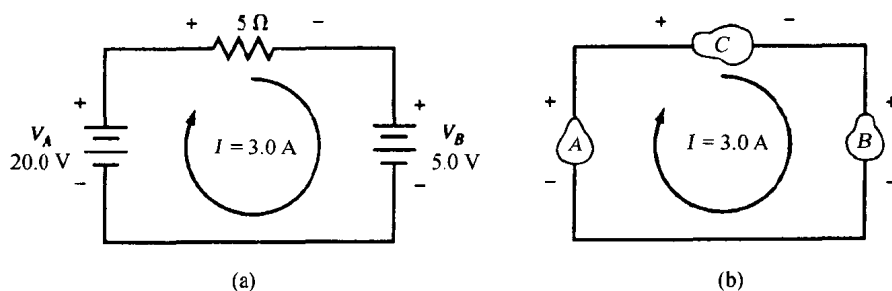
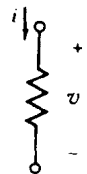
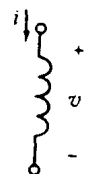


图 2-5

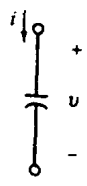
2.3 电压-电流关系

无源电路元件电阻 R , 电感 L 和电容 C , 是以各元件中电压和电流相关联的形式进行定义。例如, 若单个元件的电压 v 与电流 i 的关系为一常量, 则此元件为电阻, R 为常比例系数, 且 $v = Ri$ 。类似地, 若电压是电流对时间的导数, $v = Ldi/dt$, L 为常比例系数, 则此元件为电感。最后, 若元件中的电流是电压对时间的导数, $i = Cdv/dt$, C 为常比例系数, 则该元件为电容。表 2-1 归纳了这三种无源元件的电压-电流关系。注意电流的方向和相应电压的极性。

表 2-1

电路元件	单位	电压	电流	功率
 电阻	欧姆 (Ω)	$v = Ri$ (欧姆定律)	$i = \frac{v}{R}$	$P = vi = i^2R$
 电感	亨利 (H)	$v = L \frac{di}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int v dt + k_1$	$p = vi = Li \frac{di}{dt}$

续表

电路元件	单位	电压	电流	功率
 电容	法拉(F)	$v = \frac{1}{C} \int i dt + k_2$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$p = vi = Cv \frac{dv}{dt}$

2.4 电阻元件

所有消耗能量的设备在它的电路模型中必有电阻. 电感器和电容器可以储存能量, 并随后将能量返回给电源或其他元件. 电阻器中的功率可用公式 $p = vi = i^2 R = v^2 / R$ 计算, 其值总为正, 如下面例 2-1 所示. 瞬时功率的积分就可确定能量.

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt = \frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} v^2 dt$$

例 2.1 一个 4.0Ω 电阻中通过电流 $i = 2.5 \sin \omega t$ (A). 求电压、功率和一个周期内吸收的能量. $\omega = 500\pi$ (rad/s).

$$v = Ri = 10.0 \sin \omega t \text{ (V)}$$

$$P = vi = i^2 R = 25.0 \sin^2 \omega t \text{ (W)}$$

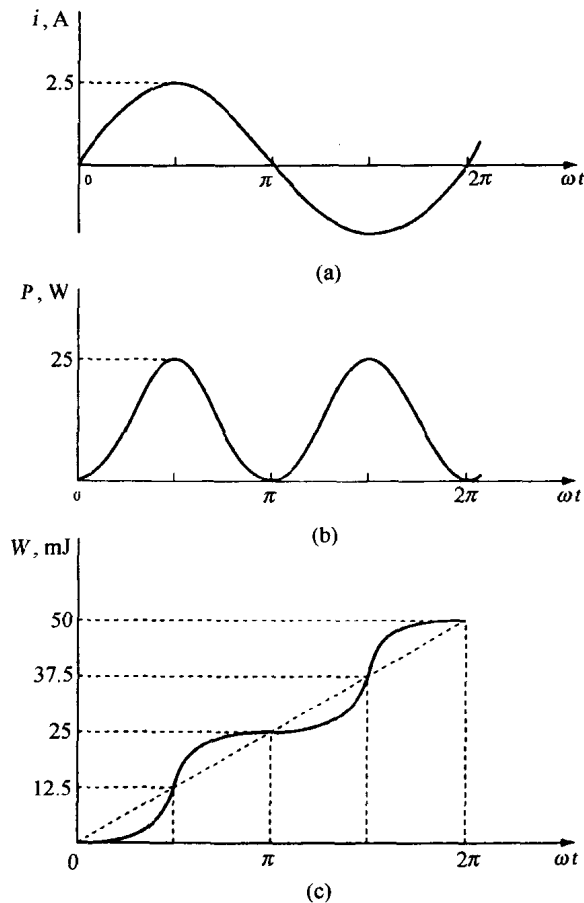


图 2-6