

SCHAUM'S  
ouTlines

全美经典 学习指导系列

# 电气工程基础

[美] J. J. 卡西 S. A. 纳萨尔 著

阚继泰 译

涵盖全部课程基础

620余道精选习题及其详解

讲授高效的解题方法

考研的得力助手

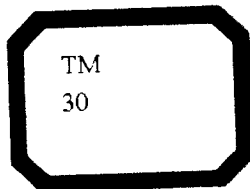
自学的理想读物



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

# 电气工程基础

[美]J.J. 卡西 S.A. 纳萨尔 著

阙继泰 译

**科学出版社**

麦格劳-希尔教育出版集团

2002

## 内 容 简 介

本书为全美经典学习指导系列丛书之一。

本书为大学工科基础课教学参考书。全书分为电路元件和电路定律,电阻电路的分析,稳态交流电路,瞬态电路分析,特殊强制函数和拉普拉斯变换,状态变量电路分析,二极管,双极结晶体管,场效应晶体管,运算放大器,开关逻辑和开关电路,数字逻辑应用,变压器,机电学和电机,控制的概念及传递函数,方框图和信号流图,控制判据和响应等17章。每章内容均包括重点分析、例题解答和补充习题。全书共有600多道习题,每道习题都附有详细答案。

本书可作为大专院校电气类、电子信息类、计算机类和其他有关专业学生的辅导教材,也可供有关工程技术人员参考。

**Jimmie J. Cathey, Syed A. Nasar: Schaum's Outlines Basic Electrical Engineering, Second Edition**

**ISBN: 0-07-011355-6**

Copyright © 1997, 1984 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-希尔教育出版集团合作出版,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: 01-2001-1759号**

### 图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础/[美]卡西(Cathey J.J.),纳萨尔(Nasar S.A.)著;阚继泰译. -北京:科学出版社,2002

(全美经典学习指导系列)

ISBN 7-03-009369-0

I. 电… II. ①卡…②纳…③阚… III. 电气工程-高等学校-教学参考资料  
IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第26451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>

**新蕾印刷厂 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:16 1/2

印数:1—5 000 字数:471 000

**定价: 25.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

在多数院系中，对于不主修电气工程的工科学生，一门电气工程的综述课程是需要的。这个课程将在两学期阶段中讲述无源电网络、电子器件和电路、磁路和电机、线性系统、控制系统、测试仪表——或至少是这些课题的大部分。本书的目的在于为这个综述课程提供示范课本；它也适于用作自修课本。那些希望参加专业工程师考试（电气工程师或其他）的人们，将发现本书更可用作复习指导。

上述全部的电气工程领域，除测试仪表外（缺少有关题目），都已包括在本书中。在每章中仅给出主题的简要复述。着重点放在解答相应的问题上，这里提供了 620 道题目。全部采用 IEEE 标准中制定的国际单位制单位。

著者谨向 Schaum's 概要丛书编辑部在编辑方面的惠助致以谢意。

J.J. 卡西  
S.A. 纳萨尔

# 目 录

<b>第 1 章 电路元件和电路定律</b> .....	1
1.1 电路的量 .....	1
1.2 电路模型 .....	2
1.3 元件的电压-电流关系 .....	2
1.4 有源元件和无源元件 .....	3
1.5 欧姆定律 基尔霍夫定律 .....	3
1.6 串联电路和并联电路 .....	3
<b>第 2 章 电阻电路的分析</b> .....	13
2.1 引言 .....	13
2.2 戴维南定理 .....	13
2.3 诺顿定理 .....	13
2.4 叠加定理 .....	13
2.5 网孔分析法 .....	14
2.6 节点分析法 .....	14
2.7 网络简化和电源变换 .....	14
<b>第 3 章 稳态交流电路</b> .....	23
3.1 正弦输入及其表示法 .....	23
3.2 瞬时值、平均值、方均根值 .....	24
3.3 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 的正弦输入稳态响应 .....	24
3.4 阻抗和串联 $RLC$ 电路 .....	26
3.5 导纳和并联 $RLC$ 电路 .....	27
3.6 交流电路的功率 .....	27
3.7 谐振 .....	28
3.8 三相电路 .....	29
<b>第 4 章 瞬态电路分析</b> .....	39
4.1 引言 .....	39
4.2 无电源电路的响应 .....	39
4.3 电路的完全响应 .....	39
<b>第 5 章 特殊强制函数和拉普拉斯变换</b> .....	53
5.1 特殊强制函数 .....	53
5.2 斜坡响应、方脉冲响应、冲激响应 .....	54
5.3 拉普拉斯变换 .....	55
<b>第 6 章 状态变量电路分析</b> .....	63
6.1 引言 .....	63
6.2 有关的矩阵理论 .....	63
6.3 状态变量定义 .....	67
6.4 向量微分方程解法 .....	68
6.5 一阶电路 .....	69
6.6 高阶电路 .....	69
<b>第 7 章 二极管</b> .....	79
7.1 引言 .....	79
7.2 半导体二极管的端极特性 .....	79

7.3	对一个理想二极管的电路分析	80
7.4	图解电路分析	81
7.5	非理想二极管的等效电路	83
7.6	整流器应用	85
7.7	波形过滤	86
7.8	限幅作用和箝位作用	88
7.9	齐纳二极管	88
7.10	真空二极管	89
<b>第 8 章</b>	<b>双极结晶体管</b>	<b>103</b>
8.1	双极结晶体管的结构和符号	103
8.2	共基极特性	103
8.3	共发射极特性	104
8.4	电流和放大	105
8.5	恒发射极电流偏置	106
8.6	直流负载线和集电极偏置	107
8.7	电容和交流负载线	108
8.8	放大器分类	109
8.9	混合参数等效电路	109
8.10	放大器的功率和效率	110
<b>第 9 章</b>	<b>场效应晶体管</b>	<b>123</b>
9.1	结型场效应管的结构和符号	123
9.2	结型场效应管的端极特性	124
9.3	偏置线和负载线	124
9.4	结型场效应管放大器的图解分析	127
9.5	结型场效应管的小信号等效电路	127
9.6	MOS 场效应管的结构和符号	127
9.7	MOS 场效应管的端极特性	127
9.8	增强型 MOS 场效应管的偏置	129
<b>第 10 章</b>	<b>运算放大器</b>	<b>137</b>
10.1	引言	137
10.2	理想运算放大器和实际运算放大器	137
10.3	反相放大器	138
10.4	同相放大器	138
10.5	求和放大器	139
10.6	微分放大器	139
10.7	积分放大器	139
10.8	滤波器应用	140
10.9	函数发生器和信号调整器	140
<b>第 11 章</b>	<b>开关逻辑和开关电路</b>	<b>151</b>
11.1	二进制函数	151
11.2	二极管逻辑电路	152
11.3	晶体管开关概念	152
11.4	MOS 场效应管开关概念	153
11.5	触发器	154
<b>第 12 章</b>	<b>数字逻辑应用</b>	<b>162</b>

12.1	布尔代数	162
12.2	逻辑门和逻辑化简	163
12.3	组合逻辑电路	164
<b>第 13 章</b>	<b>变压器</b>	<b>172</b>
13.1	磁路	172
13.2	电感和磁能	173
13.3	变压器工作	173
13.4	电压变换、电流变换、阻抗变换	174
13.5	非理想变压器	174
13.6	等效电路	175
13.7	变压器试验	175
13.8	变压器连接	177
13.9	自耦变压器	178
<b>第 14 章</b>	<b>机电学和电机</b>	<b>188</b>
14.1	基本原理	188
14.2	增量运动系统的力方程和转矩方程	188
14.3	直流电机	190
14.4	三相感应电动机	194
14.5	同步电机	198
<b>第 15 章</b>	<b>控制的概念及传递函数</b>	<b>214</b>
15.1	定义和术语	214
15.2	系统分类	214
15.3	功能方框图	215
15.4	传递函数	216
15.5	热流量关系和液体流量关系	218
<b>第 16 章</b>	<b>方框图和信号流图</b>	<b>226</b>
16.1	方框图公式化	226
16.2	方框图代数	227
16.3	信号流图	229
<b>第 17 章</b>	<b>控制判据和响应</b>	<b>237</b>
17.1	稳定性和特征方程	237
17.2	劳斯-赫尔维茨稳定性判据	238
17.3	一阶系统的响应	239
17.4	二阶系统的响应	241
17.5	稳态误差	242
17.6	灵敏度分析	244

# 第 1 章 电路元件和电路定律

## 1.1 电路的量

电荷(具体说,电子)在导体中的移动形成了电流。电子的电荷( $Q$ )为  $-1.6 \times 10^{-19}$  库仑(C)。电流( $I$ )以安培(A)计量,安培定义如下:将两根可以忽略截面尺寸的无限长直导线置于真空中,相距 1m,皆保持 1A 电流,则在两导线之间产生  $2 \times 10^{-7}$  N/m 的力。在国际单位制中,电流被定为基本量,而电荷的单位被导出为

$$1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$$

即 1A 电流通过一定截面输送电荷的速率为 1C/s。

两点之间的电压(电位差) $V$  定义为由一点移动单位电荷至另一点所需之功。电位差的单位为伏特(V),

$$1\text{V} = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{C} = 1\text{J}/\text{C}$$

焦耳(J)是功或能量的国际单位制单位。

电源的功率定义为每单位时间供出的能。于是,电能  $U$  由

$$U = QV(\text{J}) \quad (1.1)$$

得出,电功率  $P$  由

$$P = \frac{dU}{dt} = V \frac{dQ}{dt} = VI = \frac{V^2}{R} = I^2 R(\text{W}) \quad (1.2)$$

得出,瓦特(W)就是 1J/s。由式(1.2),  $1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$ 。其实,这就是国际单位制中对伏特的正式定义。

表 1-1 摘录了多种电学量的单位和量纲( $M$ ≡质量, $L$ ≡长度, $T$ ≡时间, $A$ ≡电流)。在实际工作中,经常要使用国际单位制单位的十进制倍数或十进制约数;表 1-2 列出了怎样在单位的符号之前冠以字母词头来表示这些倍数或约数。

表 1-1

量	符号	量纲	国际单位制单位
电荷	$Q$	$[\text{A}][\text{T}]$	库仑, C
电位差	$V$	$[\text{M}][\text{A}]^{-1}[\text{L}]^2[\text{T}]^{-3}$	伏特, V
电流	$I$	$[\text{A}]$	安培, A
电场强度	$E$	$[\text{M}][\text{A}]^{-1}[\text{L}][\text{T}]^{-3}$	伏特/米, V/m
电通密度	$D$	$[\text{A}][\text{L}]^{-2}[\text{T}]$	库仑/米 <sup>2</sup> , C/m <sup>2</sup>
介电常量	$\epsilon$	$[\text{M}]^{-1}[\text{A}]^2[\text{L}]^{-3}[\text{T}]^4$	法拉/米, F/m
电阻	$R$	$[\text{M}][\text{A}]^{-2}[\text{L}]^2[\text{T}]^{-3}$	欧姆, $\Omega$
电容	$C$	$[\text{M}]^{-1}[\text{A}]^2[\text{L}]^{-2}[\text{T}]^4$	法拉, F
电导率	$\sigma$	$[\text{M}]^{-1}[\text{A}]^2[\text{L}]^{-3}[\text{T}]^3$	西门子/米, S/m

表 1-2

倍增因数	字母词头	倍增因数	字母词头
$10^{18}$	E(艾)	$10^{-1}$	d(分)
$10^{15}$	P(拍)	$10^{-2}$	c(厘)
$10^{12}$	T(太)	$10^{-3}$	m(毫)
$10^9$	G(吉)	$10^{-6}$	$\mu$ (微)
$10^6$	M(兆)	$10^{-9}$	n(纳)
$10^3$	k(千)	$10^{-12}$	p(皮)
		$10^{-15}$	f(飞)
		$10^{-18}$	a(阿)



## 1.2 电路模型

为使电流在其中流通,电路要由多个电路元件的互连来构成。基本的电路元件为:电阻  $R$ 、电感  $L$ 、电容  $C$ 、电压源  $v$ 、电流源  $i$ 。将它们用符号示于图 1-1 中。

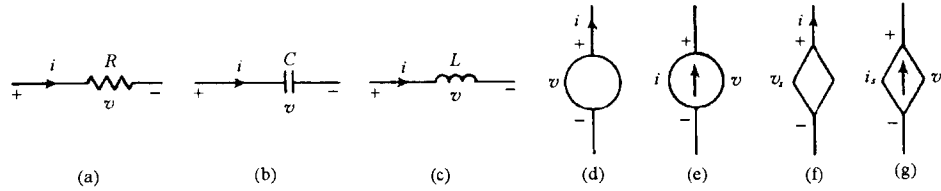


图 1-1

为了构成电路或网络,一种综合结构的电路元件互连如图 1-2 所示。注意到,每个元件都有两个端点;两个或多个元件的连接处称为节点。将一个元件连同它的引线看成电路的一条支路。电路的回路是由节点与支路交替的一条简单闭合路径;一个回路可以将网孔(不包围其他回路的回路)包围在内,如图 1-2 中含有电流  $i_3$  的回路。

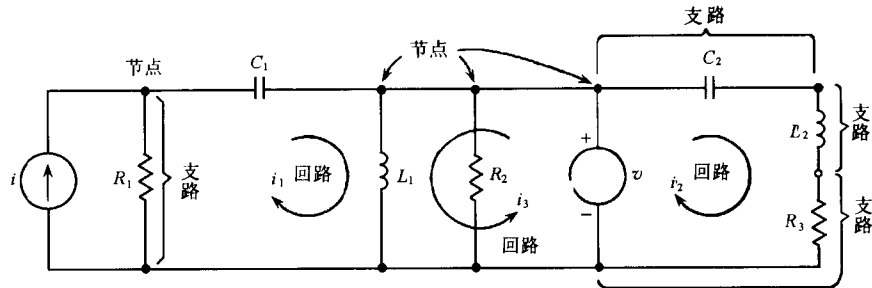


图 1-2

## 1.3 元件的电压-电流关系

对于电阻  $R$  (见图 1-1(a)), 电压-电流关系由欧姆定律给出为

$$v = Ri \quad \text{或} \quad i = Gv \quad (1.3)$$

这里  $G \equiv 1/R$  是电导,以西门子(S)计量。

电容  $C$  (见图 1-1(b)) 定义为

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{q}{v} \quad (1.4)$$

在式(1.4)中,  $q$  和  $v$  分别表示时变电荷和时变电压,反之  $Q$  和  $V$  是时不变的(直流)量。由 1.1 节,用电流  $i$  的定义可写出

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.5)$$

由方程(1.4)和(1.5)得出电容的电压-电流关系为

$$v = \frac{1}{C} \int idt \quad \text{或} \quad i = C \frac{dv}{dt} \quad (1.6)$$

第三种电路元件称为电感(见图 1-1(c)), 其电压-电流关系为

$$v = L \frac{di}{dt} \quad \text{或} \quad i = \frac{1}{L} \int vdt \quad (1.7)$$

电感的单位是亨利(H)。

### 1.4 有源元件和无源元件

理想电压源(见图 1-1(d)),具有与通过电源电流  $i$  无关的端电压  $v$ 。类似地,理想电流源(见图 1-1(e))的电流  $i$  与它两端之间的电压  $v$  无关。相对照,在相关(或受控)电压源(见图 1-1(f))中,电源两端的电压取决于网络中另一个元件两端的电压。同样,相关(或受控)电流源中的电流(见图 1-1(g)),取决于通过网络中另一个元件的电流。

将电压源和电流源称为有源元件;它们能向网络供出能量。另一方面,电阻、电容、电感是无源元件。

### 1.5 欧姆定律 基尔霍夫定律

欧姆定律在式(1.3)前已论述过了。很明显由式(1.3),设  $i=0$  但  $v \neq 0$ ,则  $R = \infty$ ,这种情况为开路。另一方面,设  $v=0$  但  $i \neq 0$ ,则  $R=0$ ,意味着短路。

基尔霍夫电压定律(KVL)写出为:电路中环绕任一回路的电压代数和为零。用数学形式表达为

$$\sum_{k=1}^n v_k = 0 \quad (1.8)$$

这里,  $n$  是电压的个数。在应用式(1.8)时,必须与统计的各个电压正负符号相符合(参看题 1.15 和 1.16)。

基尔霍夫电流定律(KCL)指明,电路中任一节点的全部进入电流代数和为零,或全部离去电流代数和为零,即

$$\sum_{k=1}^m i_k = 0 \quad (1.9)$$

这里,  $m$  是所研究的节点上电流的个数。在应用式(1.9)时,必须与指定的电流流向相符合(参看题 1.17)。

### 1.6 串联电路和并联电路

如果两个或多个电路元件传导同一电流(而不仅是等电流),就称它们为串联连接。另一方面,如果它们跨接于同一电压之间,就称这些元件为并联连接。

如果将  $n$  个电阻串联连接,可以证明(参看题 1.18)其等效电阻  $R_{es}$  为

$$R_{es} = \sum_{k=1}^n R_k \quad (1.10)$$

对于  $n$  个电阻并联,

$$\frac{1}{R_{ep}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \quad (1.11)$$

这里  $R_{ep}$  是并联组合的等效电阻(参看题 1.19)。对于  $n=2$  的特殊情况,式(1.11)化为

$$R_{ep} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

假如串联电路中的电压、电流、电阻能够分别变换为并联电路中的电流、电压、电导,于是串联电路的 KVL 方程就转化为并联电路的 KCL 方程,这时就将某个电路称为是另一个电路的对偶(参看题 1.20 和 1.21)。

在电路分析中,串联电路的电压分配概念经常是很有用的。如果式(1.10)中有电压  $v$  接于串联电阻组合两端,则  $R_k$  的端电压为

$$v_k = \frac{R_k}{R_{es}} v \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1.12)$$

同样,如果式(1.11)中有电流  $i$  进入并联电阻组合,则  $R_k$  中的电流分配法则为

$$i_k = \textcircled{1} \frac{R_{\text{sp}}}{R_k} i = \frac{\Pi_k}{\Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_n} i \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1.13)$$

这里  $\Pi_k$  是全部电阻剔除  $R_k$  后的连乘积。

### 例题解答

- 1.1 电导率和这里的电阻是温度的慢变函数。温度为  $T(^{\circ}\text{C})$  时的电阻  $R_T$  与  $0^{\circ}\text{C}$  时的电阻  $R_0$  之间关系较好地近似为

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

这里,  $\alpha$  是熟知的材料电阻温度系数。假如某线圈在  $20^{\circ}\text{C}$  时电阻为  $4.0\Omega$ ,  $80^{\circ}\text{C}$  时为  $4.52\Omega$ , 试计算: (a) 材料电阻温度系数; (b) 此线圈在  $100^{\circ}\text{C}$  时的电阻。

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad R_{20} &= R_0(1 + 20\alpha) = 4.0\Omega \\ R_{80} &= R_0(1 + 80\alpha) = 4.52\Omega \end{aligned}$$

联立解,  $\alpha = 2.27 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  和  $R_0 = 3.83\Omega$ 。

$$\text{(b)} \quad R_{100} = (3.83)[1 + 100(2.27 \times 10^{-3})] = 4.69\Omega$$

- 1.2 阻值为  $5\Omega$ 、 $7\Omega$ 、 $8\Omega$  的三个电阻, 串联连接外加  $100\text{V}$  电源, 试求通过的电流和各个端电压。

$$\text{总电阻} \equiv R_{\text{eq}} = 5 + 7 + 8 = 20\Omega$$

$$\text{电路电流} \equiv I = \frac{V}{R_{\text{eq}}} = \frac{100}{20} = 5\text{A}$$

$$5\Omega \text{ 端电压} = 5I = 25\text{V}$$

$$7\Omega \text{ 端电压} = 7I = 35\text{V}$$

$$8\Omega \text{ 端电压} = 8I = 40\text{V}$$

- 1.3 (a)  $5\Omega$ 、 $10\Omega$ 、 $20\Omega$  的三个电阻, 全并联连接外加  $100\text{V}$  电源, 试求端电压和各个通过电流。  
(b) 求出从电源吸收的电流和功率。

(a) 每个电阻皆有端电压  $100\text{V}$ ,

$$5\Omega \text{ 通过电流} = \frac{100}{5} = 20\text{A}$$

$$10\Omega \text{ 通过电流} = \frac{100}{10} = 10\text{A}$$

$$20\Omega \text{ 通过电流} = \frac{100}{20} = 5\text{A}$$

(b) 出自电源的总电流  $= 20 + 10 + 5 = 35\text{A}$

$$\text{电源输出功率} = VI = 100 \times 35 = 3500\text{W}$$

- 1.4 将图 1-3 中端点  $a$  和  $b$  之间的电路简化为单一电阻。

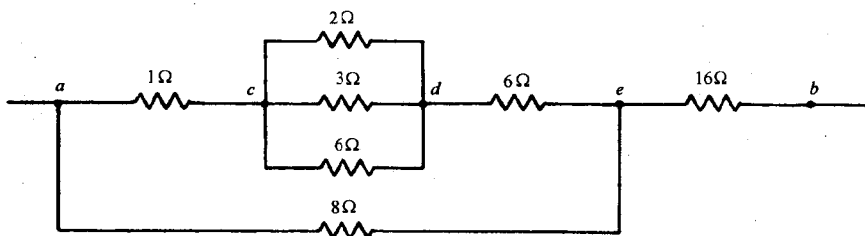


图 1-3

① 原著中无此等号。——译者注

**解** 由并联电阻法则,

$$\frac{1}{R_d} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \quad \text{或} \quad R_d = 1\Omega$$

$a$  和  $e$  之间的串联电阻为  $1+1+6=8(\Omega)$ , 得实际的电阻

$$R_{ae} = \frac{8 \times 8}{8+8} = 4(\Omega)$$

最后,  $R_{ab} = 4+16=20(\Omega)$ 。

**1.5** 试求 110V 额定 25W、60W、75W、100W 灯泡的电阻。

**解** 由  $P = V^2/R$ , 有

$$R_{25W} = \frac{(110)^2}{25} = 484\Omega, \quad R_{75W} = \frac{(110)^2}{75} = 161.3\Omega$$

$$R_{60W} = \frac{(110)^2}{60} = 201.67\Omega, \quad R_{100W} = \frac{(110)^2}{100} = 121\Omega$$

**1.6** 一个额定 110V、55W 的电热垫准备用在 220V 电源上。打算将额定 110V 灯泡的串并联组合与热垫串联连接; 灯泡是额定 20W、60W、75W、100W 的现有物品。请找到一种垫-灯组合的可能方案。经此改装的垫将以何种速率产生热?

**解** 由题 1.5 知道了各种灯泡的电阻。热垫的电阻为

$$R_p = \frac{(110)^2}{55} = 220\Omega$$

必须组合这些灯泡以得到 220Ω 的总电阻; 依照电压分配, 热垫电压将是所需的 110V。一种可能是用两个 60W 灯泡的并联组合与一个 100W 灯泡串联:

$$R_b = R_{100} + \frac{1}{2}R_{60} = 121 + \frac{1}{2}(201.67) = 221.83\Omega$$

此值处于安全一侧, 于是

$$R_p + R_b = 220 + 221.83 = 441.83\Omega, \quad I_p = \frac{220}{441.83} = 0.498A$$

热垫的热输出为  $I_p^2 R_p = (0.498)^2 (220) = 54.54W$ 。

**1.7** 将阻值 5Ω、10Ω、15Ω、20Ω 的四个电阻串联连接, 在组合的两端加 100V 电源。各电阻中的电压分配是怎样的?

**解** 用电压分配法则, 得到

$$V_5 = \left( \frac{5}{5+10+15+20} \right) (100V) = 10V$$

类此,  $V_{10} = 20V$ ,  $V_{15} = 30V$ ,  $V_{20} = 40V$ 。

**1.8** 列出公式表明并联连接的三个电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  中的电流分配法则。总输入电流为  $i$ 。

**解** 电阻两端的公共电压为  $V = iR_{\text{eq}}$ , 这里

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

由此,

$$i_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{R_{\text{eq}}}{R_1} i, \quad i_2 = \frac{R_{\text{eq}}}{R_2} i, \quad i_3 = \frac{R_{\text{eq}}}{R_3} i$$

**1.9** 两个由不同材料制成具有电阻温度系数  $\alpha_1 = 0.004^\circ\text{C}^{-1}$  和  $\alpha_2 = 0.005^\circ\text{C}^{-1}$  的电阻, 并联连接且在  $10^\circ\text{C}$  时消耗相等功率。在  $60^\circ\text{C}$  时,  $R_2$  与  $R_1$  中功率消耗之比是多少?

**解** 在  $10^\circ\text{C}$  时  $R_1 = R_2$ , 这意味着

$$R_{01}(1+10\alpha_1) = R_{02}(1+10\alpha_2) \quad \text{或} \quad \frac{R_{01}}{R_{02}} = \frac{1+10\alpha_2}{1+10\alpha_1} \quad (1)$$

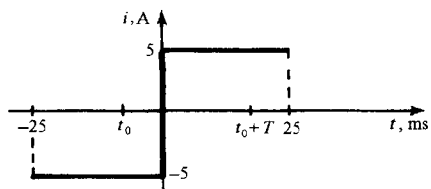
得到在  $60^\circ\text{C}$  时功率之比为

$$\frac{V^2/R_2}{V^2/R_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{01}(1+60\alpha_1)}{R_{02}(1+60\alpha_2)} = \frac{(1+10\alpha_2)(1+60\alpha_1)}{(1+10\alpha_1)(1+60\alpha_2)}$$

代入  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的数值, 得出比值 0.963。

**1.10** 一个 50mH 的电感传导每 25ms 倒向一次的 5A 电流。由于这种电流倒向, 电感在 25ms

时间间隔中①感应的平均电压是多少？



在倒向瞬间感应电压  $v$  是无限大,除此瞬间之外感应电压  $v$  是零。在间隔  $T = 25\text{ms}$  中,总是有(见图)

$$i(t_0 + T) - i(t_0) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v dt \equiv \frac{T}{L} v_{\text{avg}}$$

$$\text{或 } v_{\text{avg}} = L \frac{i(t_0 + T) - i(t_0)}{T}$$

$$= (50 \times 10^{-3}) \frac{5 - (-5)}{25 \times 10^{-3}} = 20(\text{V})$$

1.11 如果电感线圈电流如图 1-4(a)所示,试绘出电感线圈端电压的图象。

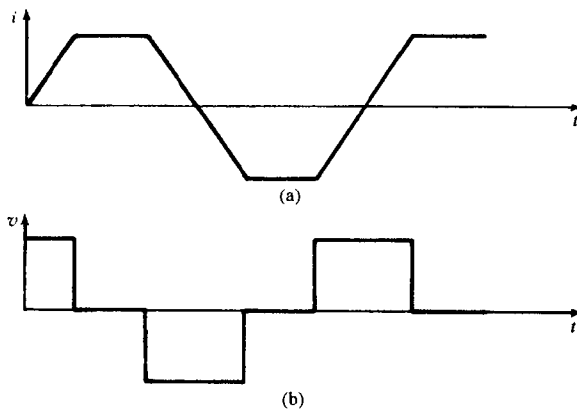


图 1-4

$v = L(di/dt)$ ; 见图 1-4(b)。

1.12 (a) 电感  $L_1$  和  $L_2$  串联连接,试求等效电感。(b) 如将两个电感并联连接,等效电感是什么? 将(a)和(b)推广到  $n$  个电感的情形。

(a) 对于有公共电流  $i$  的串联电路,有

$$v = L_{\text{eq}} \frac{di}{dt} = v_1 + v_2 = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} \quad \text{由此, } L_{\text{eq}} = L_1 + L_2$$

普遍地,

$$n \text{ 个电感串联 } L_{\text{eq}} = \sum_{k=1}^n L_k$$

(b) 对于并联电路,设公共电压为  $v$ ,有

$$i = \frac{1}{L_{\text{eq}}} \int v dt = i_1 + i_2$$

$$= \frac{1}{L_1} \int v dt + \frac{1}{L_2} \int v dt \quad \text{由此, } \frac{1}{L_{\text{eq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

普遍地,

$$n \text{ 个电感并联 } \frac{1}{L_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$

1.13 求出两个电容  $C_1$  和  $C_2$  在(a)串联连接时的等效电容和(b)并联连接时的等效电容。将(a)和(b)推广到  $n$  个电容的情形。

(a) 
$$v = \frac{1}{C_{\text{eq}}} \int i dt = v_1 + v_2 = \frac{1}{C_1} \int i dt + \frac{1}{C_2} \int i dt \quad \text{由此, } \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$n \text{ 个电容串联 } \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

① 原著中无“在 25ms 时间间隔中”。——译者注

(b) 
$$i = C_{ep} \frac{dv}{dt} = i_1 + i_2 = C_1 \frac{dv}{dt} + C_2 \frac{dv}{dt} \quad \text{由此, } C_{ep} = C_1 + C_2$$

$$n \text{ 个电容并联 } C_{ep} = \sum_{k=1}^n C_k$$

1.14 一个  $40\mu\text{F}$  电容充电至贮存  $0.2\text{J}$  能量, 然后将未充电的  $60\mu\text{F}$  电容用理想导线与前者并联连接。这个系统的最终贮能是多少?

根据式(1.2)并用式(1.6), 得到电容贮存的能量为

$$U = \int v i dt = \int v \left( C \frac{dv}{dt} \right) dt = \frac{1}{2} C v^2 \quad (1)$$

将式(1.4)用于式(1)中得贮能为

$$U = \frac{Q^2}{2C} \quad (2)$$

由式(2)求出  $40\mu\text{F}$  电容上的初始电荷, 于是

$$0.2 = \frac{Q^2}{2(40 \times 10^{-6})} \quad \text{或 } Q = 4 \times 10^{-3} \text{C}$$

电容并联连接后, 公共电压  $V$  由

$$V = \frac{\text{总 } Q}{\text{总 } C} = \frac{4 \times 10^{-3}}{(40 + 60)10^{-6}} = 40(\text{V})$$

得出。因而,

$$40\mu\text{F 电容最终贮能} = \frac{1}{2} (40 \times 10^{-6}) (40)^2 = 0.032\text{J}$$

$$60\mu\text{F 电容最终贮能} = \frac{1}{2} (60 \times 10^{-6}) (40)^2 = 0.048\text{J}$$

$$\text{最终总贮能} = 0.032 + 0.048 = 0.08\text{J}$$

能量损耗为  $0.2 - 0.08 = 0.12\text{J}$ , 表明电荷在两个电容之间迁移时做了功。

1.15 应用基尔霍夫电压定律(1.8)到图 1-5 中所示电路上。

任意选择电流  $I$  的方向如图 1-5 中所示。对于每个电阻的端电压指定了一种极性; 很明显, 如果  $I$  流入电阻的正端, 则将欧姆定律取为  $V = IR$ , 反之则取为  $V = -IR$ 。将 KVL 应用于图 1-5, 导出

$$V_1 + V_2 + V_3 - V = 0$$

这里  $V_1 = IR_1, V_2 = IR_2, V_3 = IR_3$ 。

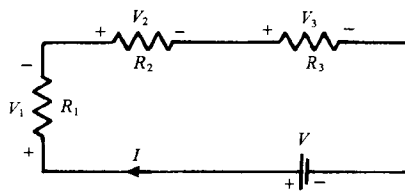


图 1-5

1.16 试对图 1-6 网络中指定的两个回路写出基尔霍夫电压定律方程。假定极性如所标明。还要用  $I_1, I_2, R_2$  表示出  $V_2$ 。

回路 1:  $-V_a + V_1 + V_2 + V_b = 0$

回路 2:  $-V_b - V_2 + V_3 + V_4 + V_7 = 0$

$R_2$  端电压:  $V_2 = (I_1 - I_2)R_2$

1.17 网络的一个节点如图 1-7 所示, 已表示了电流的流向。试求  $I$  的量值和方向。

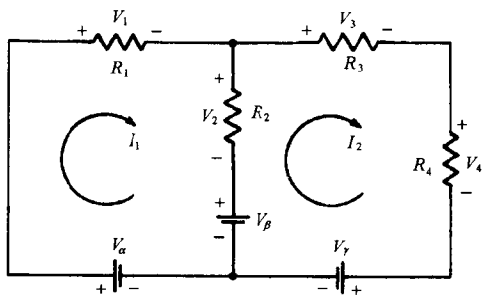


图 1-6①

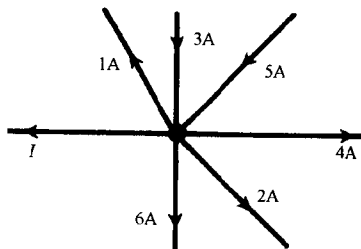


图 1-7

① 原著图中无左侧的连线。——译者注

对  $I$  假设一个指定方向, 于是由式(1.9)得到

$$-I - 1 + 3 + 5 - 4 - 2 - 6 = 0$$

由此  $I = -5A$ , 就是  $5A$  进入节点。

1.18 对于由  $n$  个电阻  $R_1, R_2, \dots, R_n$  串联连接构成的等效电阻, 试导出其表达式。

令  $V$  为串联电路组合两端的电压,  $I$  为通过它的电流,  $R_\infty$  为等效电阻。于是, 由欧姆定律, 得

$$V = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n) = IR_\infty \quad \text{由此, } R_\infty = \sum_{k=1}^n R_k$$

1.19 电阻  $R_1, R_2, \dots, R_n$  并联连接, 试求出等效电阻的表达式。

令  $I$  为进入并联组合的总电流,  $V$  为它的端电压,  $R_\infty$  为等效电阻。于是, 由 KCL,

$$I = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}\right) = \frac{V}{R_\infty} \quad \text{或} \quad \frac{1}{R_\infty} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

1.20 将  $R_1, R_2, R_3$  三个电阻与电压源  $V$  串联连接, 试绘制对偶网络。

此网络示于图 1-8(a) 中。按 1.6 节, 用并联元件替换串联元件, 绘出对偶网络图 1-8(b)。两个网络的方程为

(a)

$$V = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

(b)

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = VG_1 + VG_2 + VG_3$$

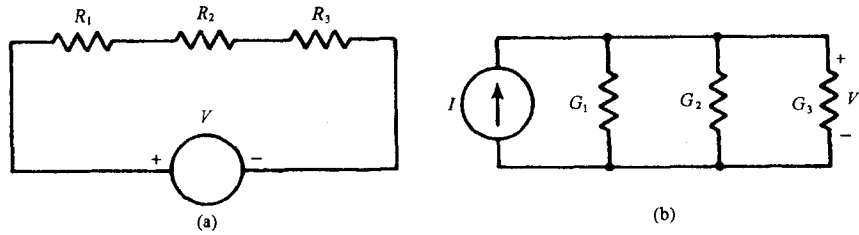


图 1-8

1.21 两网孔的网络如图 1-9(a) 所示。试拟构其对偶网络。

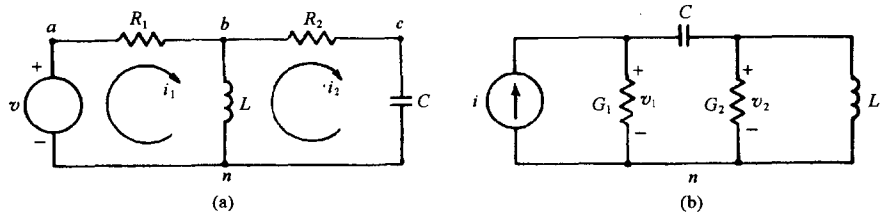


图 1-9

网络方程为

$$R_1 i_1 + L \frac{di_1}{dt} - L \frac{di_2}{dt} = v$$

$$R_2 i_2 + \frac{1}{C} \int i_2 dt + L \frac{di_2}{dt} - L \frac{di_1}{dt} = 0$$

再来构思对偶, 用两个电压  $v_1$  和  $v_2$  替换上面方程组中的  $i_1$  和  $i_2$ , 并用  $i$  替换  $v$ , 得

$$R_1 v_1 + L \frac{dv_1}{dt} - L \frac{dv_2}{dt} = i$$

$$R_2 v_2 + \frac{1}{C} \int v_2 dt + L \frac{dv_2}{dt} - L \frac{dv_1}{dt} = 0$$

现在, 如果用电导替换电阻并将电感与电容互换, 就得到了

$$G_1 v_1 + C \frac{dv_1}{dt} - C \frac{dv_2}{dt} = i$$

$$G_2 v_2 + \frac{1}{L} \int v_2 dt + C \frac{dv_2}{dt} - C \frac{dv_1}{dt} = 0$$

最后的方程组由图 1-9(b) 电路即对偶网络模拟出来。

- 1.22  $R_1 = 15\Omega$  和  $R_2 = 25\Omega$  两个电阻并联连接且由  $I = 5A$  的电流源供电。试求出每个电阻消耗的功率。

由式(1.13), 用  $n=2$ , 有

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{R_1 R_2^2}{(R_1 + R_2)^2} I^2 = \frac{(15)(25)^2}{(40)^2} (5)^2 = 146.5(W)$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = \frac{R_1^2 R_2}{(R_1 + R_2)^2} I^2 = \frac{(15)^2 (25)}{(40)^2} (5)^2 = 87.9(W)$$

- 1.23 一个桥式电路如图 1-10 中所示。用标明的电流, (a) 写出四个节点上的基尔霍夫电流定律; (b) 写出环绕回路  $abda$ 、 $bcdb$ 、 $adca$  的基尔霍夫电压定律。

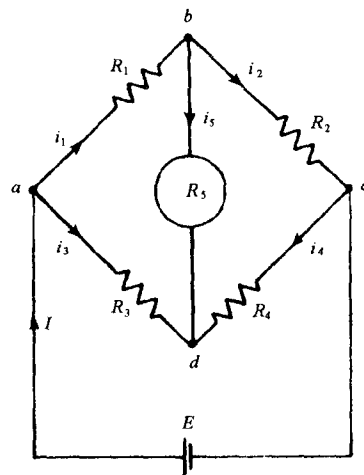


图 1-10

- (a) 节点 a:  $I = i_1 + i_3$   
 节点 b:  $i_1 = i_2 + i_5$   
 节点 c:  $i_2 = I + i_4$   
 节点 d:  $0 = i_3 + i_4 + i_5$

- (b) 回路  $abda$ :  $i_1 R_1 + i_5 R_5 = i_3 R_3$   
 回路  $bcdb$ :  $i_5 R_5 = i_2 R_2 + i_4 R_4$   
 回路  $adca$ :  $i_3 R_3 - i_4 R_4 = E$

- 1.24 对于题 1.23 电路, 研究平衡电桥 ( $i_5 = 0$ ) 的特殊情况。(a) 若  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 30\Omega$ , 求  $R_4$ 。(b) 若  $E = 45V$ , 计算电池输出的电流。

(a) 由于  $i_5 = 0$ , 得  $i_1 = i_2$  和  $i_3 = -i_4$ ; 又节点 b 和 d 为同电位, 于是

$$i_1 R_1 = i_3 R_3 \tag{1}$$

$$i_2 R_2 = -i_4 R_4 = i_3 R_4 \tag{2}$$

由(1)和(2)得到

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ 或 } R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{20 \times 30}{10} = 60\Omega$$

(b) 跨接在电池上的等效电阻  $R_e$  成为

$$R_e = \frac{(10 + 20)(30 + 60)}{10 + 20 + 30 + 60} = 22.5\Omega$$

$$\text{得 } I = \frac{E}{R_e} = \frac{45}{22.5} = 2.0A$$

- 1.25 试求图 1-11 所示网络中的电流  $i_x$  和  $i_y$ 。

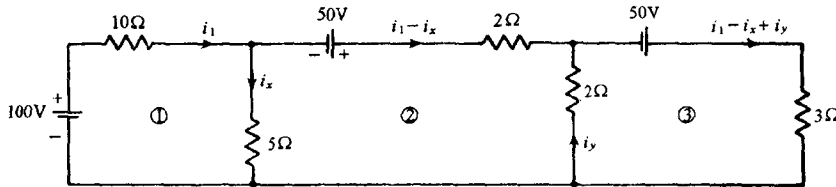


图 1-11

其余支路的电流也依据 KCL 标示在图 1-11 中。将 KVL 用于网孔 1, 2, 3:

$$100 = 10i_1 + 5i_x$$

①原著中  $i_4$  前无负号; ②原著中  $i_4$  前无负号。——译者注



$$50 = 2(i_1 - i_x) - 2i_y - 5i_x$$

$$50 = 3(i_1 - i_x + i_y) + 2i_y$$

解联立方程得到  $i_x = -3.88\text{A}$ ,  $i_y = 0.51\text{A}$ 。 $i_x$  中的负号表示真实电流的方向与图 1-11 中所给出的相反。

- 1.26 这个题涉及电源变换的概念。用图 1-12(b)中的电流源  $i$  和(并联)内阻  $R_i$  替换图 1-2(a)中的电压源  $v$  和(串联)内阻  $R_v$ , 这样能够使通过  $R$  的电流保持不变。

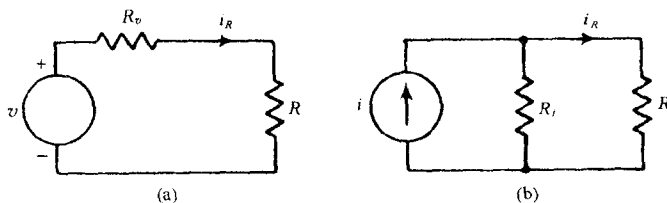


图 1-12

由图 1-12(a),

$$i_R = \frac{v}{R_v + R}$$

再由图 1-12(b),

$$i_R = \frac{iR_i}{R_i + R}$$

然后, 为了

$$\frac{v}{R_v + R} = \frac{iR_i}{R_i + R}$$

如果取  $i = v/R_v$  和  $R_i = R_v$ , 此式的等值性便可成立。

- 1.27 试求图 1-13(a)中  $2\Omega$  电阻的电流和它的端电压。

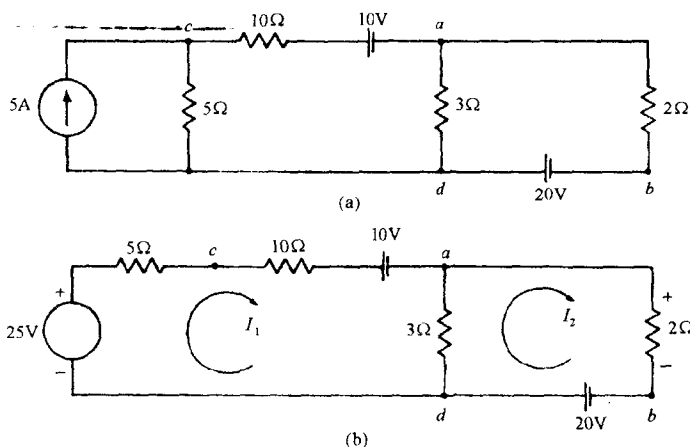


图 1-13

利用题 1.26 的结果, 将 5A 电流源变换为电压源; 这个电路变成如图 1-13(b)所示。对两个网孔, KVL 给出

$$25 - 15I_1 - 10 + 3I_2 - 3I_1 = 0$$

$$20 - 3I_2 + 3I_1 - 2I_2 = 0$$

由此解得  $I_2 = 5\text{A}$  和  $V_{ab} = 5 \times 2 = 10\text{V}$ 。

### 补充习题

- 1.28 (a)  $1000\text{W}/110\text{V}$  电阻器的阻值是多少? (b) 求出这个电阻器的额定电流。

答 (a)  $12.1\Omega$ ; (b)  $9.09\text{A}$

- 1.29 导线在  $20^\circ\text{C}$  时的电阻为  $5.4\Omega$ , 且在  $100^\circ\text{C}$  时为  $7.0\Omega$ 。求出 (a) 在  $0^\circ\text{C}$  时的电阻, (b) 当电阻为  $6.0\Omega$  时的温度。假定电阻与温度呈线性变化关系。