

//

SCHAUM'S  
ouTlines

全美经典 学习指导系列

# 基本电路分析

[美] J. 奥马利 著

李沐荪 张世娟 丘春玲 译

- 涵盖全部课程基础
- 700道精选习题及其详解
- 迅速提高解题能力
- 考研的得力助手
- 自学的最佳教材

10

科学出版社  
McGraw Hill 麦格劳-希尔教育出版集团

## 内 容 简 介

本书为“全美经典学习指导系列”之一。

本书涵盖了电路分析的基本内容,包括各种直流和交流电路,特别是运算放大器电路的分析方法,并介绍了计算机电路分析程序 PSpice. 书中对精选的 700 道习题,详细介绍了解题步骤;另外还提供了几百道补充练习题,并附有答案. 通过对本书的学习,可加深学生对基础知识的理解,有效地帮助学生提高解题能力.

本书是电路分析课程的最佳辅导书,适合电工技术和电气工程专业的师生参考使用,也是最理想的自学教材.

**John O'Malley: Schaum's Outlines Basic Circuit Analysis**

**ISBN: 0-07-047824-4**

Copyright © 1992, 1982 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: 01-2001-1771 号**

### 图书在版编目(CIP)数据

基本电路分析/[美]奥马利(O'Malley, J.)著;李沐荪,张世娟,丘春玲译. —北京:科学出版社,2002

(全美经典学习指导系列)

ISBN 7-03-009905-2

I. 基… II. ①奥…②李…③张…④丘… III. 电路分析 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 082765 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 1/2

印数:1—5 000 字数:673 000

**定价: 35.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

## 前 言

希望本书对电工技术和电气工程专业的学生学习电路分析有所帮助,使得他们能费力少而理解深.本书从直流电阻性电路的分析开始,一直讲到交流电路,与通用的电路分析教材一致,所以学生一开始就可以用本书作为电路分析的补充教材.

读者不需要懂得微分或积分运算,这是因为虽然书中在关于电容器、电感器和变压器的章节中,用到导数来说明电压与电流的关系,但是非用导数不可的问题为数很少,而且都有明确的物理意义;书中完全不用积分.本书虽然涉及高等数学不多,但对电气工程专业的读者还是非常有用的,因为大多数电气工程电路分析的资料只需要代数知识.凡是电工技术和工程领域中定义有分歧的地方,例如电容性电抗、相量和无功功率,都提醒读者;对不同的定义都加以诠释.

本书的特色之一是介绍了 PSpice,它是适用于个人计算机(PC机)的计算机电路分析或仿真程序.PSpice 类似于 SPICE,后者已经成为整个电子工业中模拟电路仿真的标准.另一个特色是介绍了运算放大器(op amp)电路.这两个论题都是第二版的新内容.另一个新增加的论题是使用高级科学计算器来解电路分析中出现的联立方程式.虽然这要求把方程式化成矩阵形式,但绝对不需要矩阵代数的知识.最后要说的是,和第一版相比,有更多的涉及非独立源电路的习题.

感谢 R. L. Sullivan 博士,在我编写第二版时,他是佛罗里达大学电气工程系主任,为本书的写作提供了良好的环境.感谢我的妻子 Lois Anne 和儿子 Mathew,没有他们坚持不懈的支持和鼓励,我不可能写成本书的第二版.

John R. O'Malley

155-8/01

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 基本概念</b> .....	<b>1</b>
数字分组 .....	1
国际制单位 .....	1
电荷 .....	2
电流 .....	2
电压 .....	3
非独立源 .....	3
功率 .....	4
能 .....	5
<b>第二章 电阻</b> .....	<b>13</b>
欧姆定律 .....	13
电阻率 .....	13
温度效应 .....	14
电阻器 .....	15
电阻器吸收的功率 .....	15
标称值和容差 .....	15
颜色代码 .....	15
开路 and 短路 .....	16
内阻 .....	16
<b>第三章 串联和并联直流电路</b> .....	<b>24</b>
支路、节点、回路、网孔、串联和并联元件 .....	24
基尔霍夫电压定律和串联直流电路 .....	24
分压 .....	25
基尔霍夫电流定律和并联直流电路 .....	25
分流 .....	26
千欧-毫安法 .....	27
<b>第四章 直流电路分析</b> .....	<b>45</b>
克拉茂法则 .....	45
计算器解法 .....	46
电源变换 .....	47
网孔分析 .....	47
回路分析 .....	48
节点分析 .....	48
非独立源和电路分析 .....	49
<b>第五章 直流等效电路、网络定理和桥路</b> .....	<b>71</b>
引言 .....	71
戴维南定理和诺顿定理 .....	71
最大功率传输定理 .....	73
叠加定理 .....	73

密尔曼定理 .....	73
Y- $\Delta$ 和 $\Delta$ -Y 变换 .....	74
桥路 .....	75
<b>第六章 运算放大器电路 .....</b>	<b>97</b>
引言 .....	97
运放的工作 .....	97
通用的运放电路 .....	98
多个运算放大器电路 .....	101
<b>第七章 PSpice 直流电路分析 .....</b>	<b>119</b>
引言 .....	119
基本语句 .....	119
非独立源 .....	121
.DC 和 .PRINT 控制语句 .....	122
限制 .....	123
<b>第八章 电容器和电容 .....</b>	<b>134</b>
引言 .....	134
电容 .....	134
电容器的结构 .....	134
总电容 .....	135
能量存储 .....	136
时变电压和电流 .....	136
电容器电流 .....	136
单个电容器直流激励电路 .....	137
RC 计时器和振荡器 .....	138
<b>第九章 电感器、电感及 PSpice 暂态分析 .....</b>	<b>153</b>
引言 .....	153
磁通 .....	153
电感和电感器的结构 .....	154
电感器的电压和电流关系 .....	154
总电感 .....	154
能量存储 .....	155
单个电感器直流激励电路 .....	155
PSpice 暂态分析 .....	156
<b>第十章 正弦交变电压和电流 .....</b>	<b>171</b>
引言 .....	171
正弦波和余弦波 .....	171
相位关系 .....	174
平均值 .....	174
电阻器的正弦响应 .....	175
有效值或方均根值 .....	175
电感器的正弦响应 .....	176
电容器的正弦响应 .....	176
<b>第十一章 复数代数和相量 .....</b>	<b>190</b>
引言 .....	190
虚数 .....	190

复数和直角坐标形式·····	191
极坐标形式·····	192
相量·····	193
<b>第十二章 基本交流电路分析、阻抗和导纳·····</b>	<b>204</b>
引言·····	204
相量域电路元件·····	204
交流串联电路分析·····	205
阻抗·····	206
分压·····	207
交流并联电路分析·····	208
导纳·····	209
分流·····	210
<b>第十三章 交流电路的网孔、回路、节点和 PSpice 分析·····</b>	<b>233</b>
引言·····	233
电源变换·····	233
网孔分析和回路分析·····	233
节点分析·····	234
PSpice 交流分析·····	236
<b>第十四章 交流等效电路、网络定理和桥路·····</b>	<b>261</b>
引言·····	261
戴维南定理和诺顿定理·····	261
最大功率传输定理·····	262
叠加定理·····	262
交流 Y- $\Delta$ 和 $\Delta$ -Y 变换·····	262
交流桥路·····	263
<b>第十五章 交流电路的功率·····</b>	<b>289</b>
引言·····	289
电路吸收的功率·····	289
瓦特计·····	290
无功功率·····	291
复功率和视在功率·····	291
功率因数校正·····	292
<b>第十六章 变压器·····</b>	<b>309</b>
引言·····	309
右手定则·····	309
点标志约定·····	310
理想变压器·····	310
空芯变压器·····	312
自耦变压器·····	314
PSpice 和变压器·····	315
<b>第十七章 三相电路·····</b>	<b>340</b>
引言·····	340
下标的记法·····	340
三相电压的发生·····	340
发电机绕组的连接·····	341

相序 .....	342
平衡 Y 电路 .....	342
平衡 $\Delta$ 负载 .....	344
并联负载 .....	346
功率 .....	346
三相功率测量 .....	347
不平衡线路 .....	348
三相线路的 PSpice 分析 .....	348

# 第一章 基本概念

## 数字分组

为便于读数,有些国际科学委员会建议在小数点左右,按三位一组划分数字,例如,62 325.473 53.但是,如果正好是四位,则可以不划分,而且最好不要划分.例如 4138 或者 4 138,0.1278 或者 0.127 8,虽然都可以接受,但是写成 4138,0.1278 更合适.国际委员会不同意用逗号分隔数组,因为有些国家用逗号表示小数点.本书一律用空格分隔数组.

## 国际制单位

国际制单位(SI)是国际测量用语.国际制有 9 个基本单位,如表 1-1 所示,表中还示出了单位符号.所有其他的物理量都从基本单位导出.

表 1-1

物理量	单 位	符 号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
温度(绝对温度)	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

每个基本单位的倍数和分数采用十进制,用前缀来表示.国际制前缀是加在国际制单位名称之前的术语,用来构成十进倍数或者分数.例如,因为“千”(kilo)是表示一千用的前缀,因此千米就是一千米.又因为“微”(micro)是百万分之一的国际制前缀,一微秒就等于 0.000 001 秒.

国际制前缀符号如表 1-2 所示,表中还列出了对应的 10 的幂次.大多数电路分析中,只用到兆、千、毫、微、纳、皮.前缀的正确位置是在单位符号之前,例如,km 表示千米,cm 表示厘米.

表 1-2

倍乘数	前 缀	符 号	倍乘数	前 缀	符 号
$10^{18}$	艾 exa	E	$10^{-1}$	分 deci	d
$10^{15}$	拍 peta	P	$10^{-2}$	厘 centi	c
$10^{12}$	太 tera	T	$10^{-3}$	毫 milli	m
$10^9$	吉 giga	G	$10^{-6}$	微 micro	$\mu$
$10^6$	兆 mega	M	$10^{-9}$	纳 nano	n
$10^3$	千 kilo	k	$10^{-12}$	皮 pico	p
$10^2$	百 hecto	h	$10^{-15}$	飞 femto	f
$10^1$	十 deka	da	$10^{-18}$	阿 atto	a



## 电 荷

科学家发现了两类电荷:正电荷和负电荷.正电荷由称为**质子 (protons)**的次原子粒子运载,负电荷由称为**电子 (electrons)**的次原子粒子运载.一切电荷量必定是这些原始电荷量的整数倍.科学家还发现电荷之间产生相互作用力.同性电荷相斥;异性电荷相吸.此外,电路中的**电荷守恒**,意思是说,电路中的总电荷量保持不变——电荷不生不灭.(电子元件互相连接,形成至少一个封闭路径,就成为**电路**或者**网络**).

电子或者质子的电荷量太小,用来做基本单位很不方便.国际制的电荷基本单位不用它,而是用**库仑 (coulomb)**,单位符号为 C.计量符号用  $Q$  表示恒定电荷,用  $q$  表示随时间变化的电荷.一个电子的电荷是  $-1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ,一个质子的电荷则是  $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ .换句话说,  $6.241 \times 10^{18}$  个电子的总电荷等于  $-1\text{C}$ ,  $6.241 \times 10^{18}$  个质子的总电荷等于  $1\text{C}$ .

物质的每个原子有一个带正电的原子核,它由质子和不带电粒子——称为**中子 (neutrons)**——组成.电子在质子的吸引下,沿轨道围绕原子核运转.对于一个未受扰的原子来说,电子数等于质子数,使原子呈电中性.但是,如果有一个外层电子接受了能量(譬如说热能),其能量足以克服质子的吸引力,它就会变成**自由电子**.原子本身则因为所带正电荷大于负电荷,成为一个**正离子**.有一些原子还能“俘获”自由电子,得到多余的负电荷,成为**负离子**.

## 电 流

电荷流动形成**电流**.电流的国际制单位是**安培 (ampere)**,单位符号为 A.计量符号用  $I$  表示恒定电流, $i$  表示随时间变化的电流.设 1s 内有 1C 的恒定电荷通过导体内某一定点,则形成的电流为 1A.一般地,

$$I(\text{安培}) = \frac{Q(\text{库仑})}{t(\text{秒})}$$

式中,  $t$  是时间的计量符号.

电流有一个关联方向.约定电流的方向是正电荷流动的方向,与负电荷的运动方向相反.在固体中,只有自由电子可以运动形成电流——离子是不能动的.但是,在气体和液体中,正、负离子都能运动,产生电流.因为电路几乎全部是由固体组成的,所以几乎在所有电路中,电流都是由电子产生的.不过这一事实在电路分析中并不重要,因为分析差不多总是在电流这一级上进行,而不在电荷一级上进行.

在电路图中,每个  $I$  (或者  $i$ ) 通常用一个关联的箭头来表示**电流的参考方向**,如图 1-1 所示.箭头表示正电流的方向,但不一定是真正的流动方向.如果,经过计算,求得的  $I$  是正值,则电流的实际方向就是箭头所指的方向.如果电流  $I$  是负值,则电流依相反方向流动.

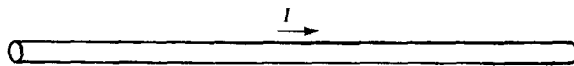


图 1-1

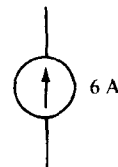


图 1-2

所有时间内只往一个方向流动的电流,称为**直流 (dc)**,流动方向轮流改变的电流称为**交流 (ac)**.但是,通常直流只指恒定的电流;交流则指随时间按正弦规律变化的电流.

**电流源**是一种提供一定电流的电路元件.图 1-2 画出电流源在电路图中的符号.此电流源给出 6A 电流,方向如箭头所示,大小和电流源两端的电压(下节讨论)无关.

## 电 压

电压的概念涉及功;功则涉及力和距离.功的国际制单位是**焦耳(joule)**,单位符号是J;力的国际制单位是**牛顿(newton)**,单位符号是N;自然,距离的国际制单位是米(meter),单位符号是m.

为了使物体在抵抗力的作用下运动,需要做功.例如,为抵抗重力而举起物体,要做功.一般地说,需要的功(用焦耳计量)等于力和距离的乘积(力用牛顿计量,距离用米计量):

$$W(\text{焦耳}) = F(\text{牛顿}) \times s(\text{米})$$

式中, $W$ 、 $F$ 和 $s$ 分别是功、力和距离的计量符号.

能是做功的本领.能的一种形式是**位能**,它是来自物体位置的能量.

两点之间的**电压差**(也叫**电位差**)是用来从一点到另一点移动1C电荷所需要做的焦耳功,电压的国际制单位是**伏特(volt)**,单位符号是V.计量符号是 $V$ 或者 $v$ ,虽然 $E$ 和 $e$ 也常用.一般地,

$$V(\text{伏特}) = \frac{W(\text{焦耳})}{Q(\text{库仑})}$$

电压的计量符号 $V$ 有时用下标表示电压对应于哪两点.如果字母 $a$ 代表一点,字母 $b$ 代表另外一点,需要 $W$ 焦耳的功来从 $b$ 点向 $a$ 点移动 $Q$ 库仑,则 $V_{ab} = W/Q$ .注意,第一个下标是电荷移动所向点.功的计量符号有时也带下标,例如 $V_{ab} = W_{ab}/Q$ .

如果从 $b$ 向 $a$ 移动正电荷(或者从 $a$ 向 $b$ 移动负电荷)确实需要做功,则 $a$ 点对 $b$ 点为正.这就是**电压的极性**.电路图中,这一电压极性的表示方法是在 $a$ 点用(+ )号, $b$ 点用(- )号标出,如图1-3(a)所示的6V.用术语来表达这一电压,可以说,这是从 $b$ 到 $a$ 的6V电压升或者电位升,或等效地说,从 $a$ 到 $b$ 的6V电压降或电位降.

如果电压用图1-3(b)的计量符号表示,则正、负号只是参考极性,不一定是真正的极性.

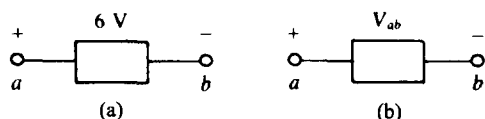


图 1-3

此外,如果用下标,则正极性符号位于第一个下标的对应点(这里是 $a$ ),负极性符号位于第二个下标的对应点(这里是 $b$ ).经过计算后,如果求得 $V_{ab}$ 为正值,则 $a$ 点事实上对 $b$ 点为正,与参考极性符号一致.但是,如果 $V_{ab}$ 是负值,则实际的极性和图标相反.

恒定电压称为**直流电压**,随时间按正弦规律变化的电压称为**交流电压**.

**电压源(例如电池或发电机)**提供的电压,在理想情况下不随通过电源的电流而变化.图1-4(a)所示是电池的电路图符号,该电源提供12V直流电压.这个符号也常常用来表示其他直流电压源,不一定是电池.通常不画出“+”、“-”号,因为,习惯上,长端线代表正端,短端线代表负端.直流电压源的另一种电路符号如图1-4(b)所示.电池利用化学能,使负电荷从富有多余质子、有吸引力的正端,运动到富有多余电子、有排斥力的负端.电压发电机提供的这种能量来自机械能,它使磁铁转动,经过线圈.

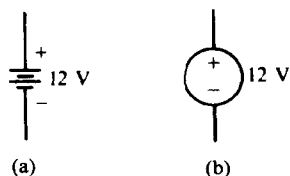


图 1-4

## 非独立源

图1-2和图1-4所示的电源是**独立源**.独立电流源提供一

定量的电流,独立电压源提供一定量的电压,两者都不受其他电压或电流的影响.相反地,非独立源(也叫受控源)提供的电压或电流受电路中其他地方的电压或电流的影响.在电路图中,非独立源用钻石形的符号表示.例如,图 1-5 所示的电路中含有一个非独立电压源,它提供的电压是  $5V_1$ ,是电路中另外一个地方的一个电阻器上电压的 5 倍.(图中所示的电阻器在下一章中讨论.)共有四种非独立源:电压控制电压源(如图 1-5 所示)、电流控制电压源、电压控制电流源和电流控制电流源.非独立源很少是单独的物理元件.但是,它们非常重要,因为它们出现在运算放大器、晶体管这类电子元件的模型中.

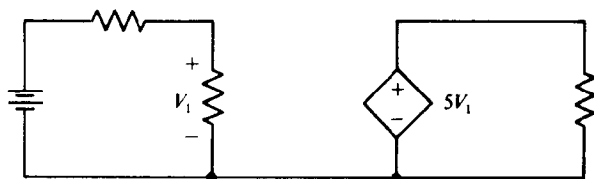


图 1-5

### 功 率

吸收或产生能量的速率称为吸收或产生的功率.能源产生或给出功率;负载吸收功率.功率的国际制单位是瓦特(watt),单位符号是 W. 计量符号用  $P$  代表恒定功率, $p$  代表时变功率.如果以恒定的速率,在 1s 内吸收或给出的功是 1J,则对应的功率是 1W.一般地,

$$P(\text{瓦特}) = \frac{W(\text{焦耳})}{t(\text{秒})}$$

如果电流的参考箭头是流入正参考端,如图 1-6 所示,则电路元件吸收的功率是电压和电流的乘积:

$$P(\text{瓦特}) = V(\text{伏特}) \times I(\text{安培})$$

这样的参考称为关联参考(associated references).(常常不用关联参考,而用无源符号约定 passive sign convention 这一名词.)如果参考不相关联(电流箭头流入负参考端),则吸收的功率是  $P = -VI$ .

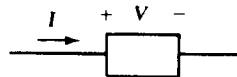


图 1-6

如果用上述任何一个公式计算出来的  $P$  是正值,则元件实际上吸收功率.但如果  $P$  是负值,则元件产生功率——它是电能的来源.

电动机的额定输出功率常用称为马力(horsepower—hp)的功率单位表示,虽然它不是国际制单位.马力和瓦特的关系是  $1\text{hp} = 745.7\text{W}$ .

电动机和其他系统有一个运行效率( $\eta$ ),其定义为

$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100\% \quad \text{或} \quad \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

效率也可由输出功除以输入功计算.计算中,效率常用小数表示,即百分比除以 100.

图 1-7 所示串级系统的总效率是各个效率的乘积:

$$\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdots \eta_n$$



图 1-7

能

消耗或者产生的电能,等于输入或输出的电功率和输入或输出所用时间的乘积:

$$W(\text{焦耳}) = P(\text{瓦特}) \times t(\text{秒})$$

用户从电力公司购买的是电能.公司不用焦耳作为电能的单位,而是用大得多,但是更方便的千瓦时(kilowatthour—kWh),虽然它并非国际制单位.消耗的千瓦时值等于吸收的功率(以千瓦表示)乘以吸收所用的时间(以小时表示):

$$W(\text{千瓦时}) = P(\text{千瓦}) \times t(\text{小时})$$

### 习题解答

1.1 求(a)  $5.31 \times 10^{20}$  个电子(electron)和(b)  $2.9 \times 10^{22}$  个质子(proton)的电荷,用库仑表示.

**解** (a) 因为一个电子的电荷是  $-1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ,总电荷是

$$5.31 \times 10^{20} \text{ electrons} \times \frac{-1.602 \times 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ electron}} = -85.1 \text{C}$$

(b) 同理,总电荷是

$$2.9 \times 10^{22} \text{ protons} \times \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ proton}} = 4.65 \text{kC}$$

1.2 6.8pC 电荷有多少个质子?

**解** 因为  $6.241 \times 10^{18}$  个质子合在一起的电荷是 1C,质子数为

$$6.8 \times 10^{-12} \text{C} \times \frac{6.241 \times 10^{18} \text{ protons}}{1 \text{C}} = 4.24 \times 10^7 \text{ protons}$$

1.3 求通过电灯泡的电流,电流分别是由下面的稳定运动形成的:(a)4 秒(s)内 60C;(b)2 分(min)内 15C;(c)1 小时(h)内  $10^{22}$  个电子.

**解** 电流是以每秒库仑值表示的电荷流动率.所以,

$$(a) I = \frac{Q}{t} = \frac{60 \text{C}}{4 \text{s}} = 15 \text{C/s} = 15 \text{A}$$

$$(b) I = \frac{15 \text{C}}{2 \text{min}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} = 0.125 \text{C/s} = 0.125 \text{A}$$

$$(c) I = \frac{10^{22} \text{ electrons}}{1 \text{h}} \times \frac{1 \text{h}}{3600 \text{s}} \times \frac{-1.602 \times 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ electron}} = -0.445 \text{C/s} = -0.445 \text{A}$$

答案中的负号表示电流流动的方向和电子运动的方向相反.但是这个符号在此并不重要,可以忽略,因为问题的叙述中,并未规定电子的运动方向.

1.4 电子向右通过一根导线的截面,速率为每分钟  $6.4 \times 10^{21}$  电子.求导线中的电流.

**解** 因为电流是以每秒库仑值表示的电荷运动率,所以

$$I = \frac{6.4 \times 10^{21} \text{ electrons}}{1 \text{min}} \times \frac{-1 \text{C}}{6.241 \times 10^{18} \text{ electrons}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} = -17.1 \text{C/s} = -17.1 \text{A}$$

答案中的负号表示电流向左方,和电子运动方向相反.

1.5 在一液体中,带有一个多余电子的负离子,以每分钟  $2.1 \times 10^{20}$  个离子的稳定速率向左移动,带有二个多余质子的正离子以每分钟  $4.8 \times 10^{19}$  个离子的稳定速率向右移动.求向右的电流.

**解** 负离子左移和正离子右移,二者都产生向右的电流,因为电流流动的方向和负电荷运动的方向相反,和正电荷运动方向相同.对于向右的电流,电子向左的运动是一种负运动.此外,每个正离子,因为是二价的,其电荷是质子电荷的二倍.所以,

$$I = -\frac{2.1 \times 10^{20} \text{ electrons}}{1 \text{min}} \times \frac{-1.602 \times 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ electron}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} + \frac{2 \times 4.8 \times 10^{19} \text{ protons}}{1 \text{min}} \times \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ proton}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}}$$

$$= 0.817\text{A}$$

1.6 10A 保险丝中,有 45 000C/h 的稳定电荷通过,是否会烧断?

解 电流是

$$\frac{45\,000\text{C}}{1\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 12.5\text{A}$$

大于 10A 额定值,所以保险丝将烧断.

1.7 设有稳定的电流通过一个开关,求通过以下电荷所需时间:(a)电流为 15mA;通过 20C;  
(b)电流 30pA,通过 12 $\mu\text{C}$ ;(c)电流 -64.2nA,通过  $2.58 \times 10^{15}$  个电子.

解 因为  $I = Q/t$ ,解得  $t = Q/I$ .

$$(a) t = \frac{20\text{C}}{15 \times 10^{-3}\text{A}} = 1.33 \times 10^3\text{s} = 22.2\text{min}$$

$$(b) t = \frac{12 \times 10^{-6}\text{C}}{30 \times 10^{-12}\text{A}} = 4 \times 10^5\text{s} = 111\text{h}$$

$$(c) t = \frac{2.58 \times 10^{15}\text{electrons}}{-64.2 \times 10^{-9}\text{A}} \times \frac{-1\text{C}}{6.241 \times 10^{18}\text{electrons}} = 6.44 \times 10^3\text{s} = 1.79\text{h}$$

1.8 电池能提供的总电荷通常用安时(Ah)规定.一安时是 1A 电流流动 1 小时运载的电荷量.求对应于 1Ah 的库仑值.

解 因为由  $Q = It$ ,1C 等于一安培秒(As),

$$Q = 1\text{Ah} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 3600\text{As} = 3600\text{C}$$

1.9 某汽车蓄电池额定值是 700Ah、3.5A,意思是说蓄电池大约在  $700/3.5 = 200$  小时内提供 3.5A.但是,电流越大,能取用的电荷越少.问蓄电池供给 2A,可以维持多久?

解 电流能流动的时间大约等于安时除以电流:

$$t = \frac{700\text{Ah}}{2\text{A}} = 350\text{h}$$

实际上,蓄电池提供 2A 的时间要大于 350h,因为这一较小电流的安时额定值要大于 3.5A 的.

1.10 AWG(美国线规)14 号铜线运载 10A 电流,求电子的平均漂移速度.已知铜每立方英寸有  $1.38 \times 10^{24}$  个自由电子,AWG14 号线的横截面积是  $3.23 \times 10^{-3}\text{in}^2$ (平方英寸).

解 平均漂移速度( $v$ )等于电流除以横截面积和电子密度之积:

$$v = \frac{10\text{C}}{1\text{s}} \times \frac{1}{3.23 \times 10^{-3}\text{in}^2} \times \frac{1\text{in}^3}{1.38 \times 10^{24}\text{electrons}} \times \frac{0.0254\text{m}}{1\text{in}} \times \frac{1\text{electron}}{-1.602 \times 10^{-19}\text{C}}$$

$$= -3.56 \times 10^{-4}\text{m/s}$$

答案中的负号表示电子运动的方向和电流的流动方向相反.注意速度是很低的.一个电子平均 1 小时内只移动 1.28m,虽然电子运动产生的电脉冲移动速度接近光速( $2.998 \times 10^8\text{m/s}$ ).

1.11 求提升一台 4500kg 的电梯到垂直距离 50m 所需的功.

解 所需的功是运动距离和克服电梯重量所需力的乘积.因为重量用牛顿表示,是用千克表示的质量的 9.8 倍,

$$W = F_s = (9.8 \times 4500)(50)\text{J} = 2.2\text{MJ}$$

1.12 180 磅(lb)重的人爬上 6 英尺(ft)梯子,求获得的位能焦耳值.

解 人获得的位能等于他爬梯子必须做的功.涉及的力是他的体重,距离是梯子的高度.以磅表示的重量换算成牛顿力的换算因子是  $1\text{N} = 0.225\text{lb}$ .于是

$$W = 180\text{lb} \times 6\text{ft} \times \frac{1\text{N}}{0.225\text{lb}} \times \frac{12\text{in}}{1\text{ft}} \times \frac{0.0254\text{m}}{1\text{in}} = 1.46 \times 10^3\text{Nm} = 1.46\text{kJ}$$

1.13 问 12V 的汽车蓄电池需消耗多少化学能,使  $8.93 \times 10^{20}$  个电子由电池正端运动到负端?

**解** 合适的公式是  $W = QV$ . 虽然  $Q$  和  $V$  的符号很重要, 但这里显然可见, 这两个量的乘积必定是正值, 因为需要能量来使电子运动. 所以最简单的办法是忽略  $Q$  和  $V$  的符号. 或者, 如果要用符号,  $V$  是负的, 因为电荷向较负的一端运动, 当然,  $Q$  是负的, 因为电子有负电荷. 于是,

$$W = QV = 8.93 \times 10^{20} \text{ electrons} \times (-12\text{V}) \times \frac{-1\text{C}}{6.241 \times 10^{18} \text{ electrons}} = 1.72 \times 10^3 \text{ VC} = 1.72 \text{ kJ}$$

**1.14** 设由  $b$  点到  $a$  点移动  $16\text{C}$  正电荷需要  $0.8\text{J}$ , 求  $a$  点到  $b$  点的电压降  $V_{ab}$ .

**解**

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{0.8\text{J}}{16\text{C}} = 0.05\text{V}$$

**1.15** 由  $a$  点向  $b$  点运动时,  $2 \times 10^{19}$  个电子做功  $4\text{J}$ . 求  $a$  点到  $b$  点的电压降  $V_{ab}$ .

**解** 电子做的功等效于对电子做的负功, 电压取决于在电荷上做的功. 所以  $W_{ba} = -4\text{J}$ , 但  $W_{ab} = -W_{ba} = 4\text{J}$ . 于是,

$$V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{4\text{J}}{2 \times 10^{19} \text{ electrons}} \times \frac{6.241 \times 10^{18} \text{ electrons}}{-1\text{C}} = -1.25\text{J/C} = -1.25\text{V}$$

负号表示从  $a$  到  $b$  不是电压降而是电压升. 换句话说,  $b$  点比  $a$  点正.

**1.16** 设需用  $24\text{J}$  由  $a$  点到  $b$  点移动下面的电荷: (a)  $3\text{C}$ ; (b)  $-4\text{C}$ ; (c)  $20 \times 10^{19}$  个电子. 求  $a$  点到  $b$  点的电压降  $V_{ab}$ .

**解** 如果需要  $24\text{J}$  使电荷由  $a$  点运动到  $b$  点, 则需要  $-24\text{J}$  使它们由  $b$  点运动到  $a$  点. 换句话说,  $W_{ab} = -24\text{J}$ . 所以,

$$(a) V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{-24\text{J}}{3\text{C}} = -8\text{V}$$

答案中的负号表明  $a$  点负于  $b$  点——由  $a$  到  $b$  电压升高.

$$(b) V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{-24\text{J}}{-4\text{C}} = 6\text{V}$$

$$(c) V_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \frac{-24\text{J}}{20 \times 10^{19} \text{ electrons}} \times \frac{6.241 \times 10^{18} \text{ electrons}}{-1\text{C}} = 0.749\text{V}$$

**1.17** 求额定值  $650\text{Ah}$  的  $12\text{V}$  汽车蓄电池中存储的能量.

**解** 由  $W = QV$  以及  $1\text{As} = 1\text{C}$  这一事实 ( $\text{As}$ ——安秒),

$$W = 650\text{Ah} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} \times 12\text{V} = 2.34 \times 10^6 \text{ As} \times 12\text{V} = 28.08\text{MJ}$$

**1.18** 一电灯泡内有  $0.5\text{A}$  电流通过, 时间  $4\text{s}$ , 使灯泡发出  $240\text{J}$  的光和热能, 求电灯泡的电压降.

**解** 因为流动的电荷是  $Q = It = 0.5\text{A} \times 4\text{s} = 2\text{C}$ ,

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{240\text{J}}{2\text{C}} = 120\text{V}$$

**1.19** 一无线电在  $2$  分钟内消耗  $3600\text{J}$ , 求平均输入功率.

**解**

$$P = \frac{W}{t} = \frac{3600\text{J}}{2\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 30\text{J/s} = 30\text{W}$$

**1.20**  $60\text{W}$  电灯泡一小时内消耗多少焦耳?

**解** 由式  $P = W/t$ , 并由  $1\text{Ws} = 1\text{J}$  这一事实,

$$\begin{aligned} W &= Pt = 60\text{W} \times 1\text{h} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 216\,000\text{Ws} \\ &= 216\text{kJ} \end{aligned}$$

1.21 100W 电灯泡消耗 13kJ 需要多久?

解 由式  $P = W/t$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{13\,000\text{J}}{100\text{W}} = 130\text{s}$$

1.22 一电炉元件接到 115V 线路时,取用 10A,问消耗多少功率?

解  $P = VI = 115 \times 10\text{W} = 1.15\text{kW}$

1.23 1200W 烤面包器由 120V 线路取用多少电流?

解 由式  $P = VI$ ,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1200\text{W}}{120\text{V}} = 10\text{A}$$

1.24 图 1-8 所示电路图中有一个  $V$  伏特的电压源连接到一个  $I$  安培的电流源. 求下列情形电压源吸收的功率:

(a)  $V = 2\text{V}, I = 4\text{A}$

(b)  $V = 3\text{V}, I = -2\text{A}$

(c)  $V = -6\text{V}, I = -8\text{A}$

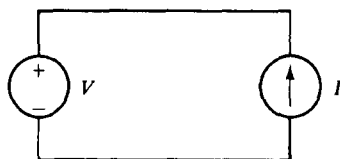


图 1-8

解 因为  $I$  的参考箭头进入  $V$  的正参考端,电压源的电流和电压参考是关联的.这意味着吸收的功率和电压及电流乘积之间的关系有一个正号(或不存在负号): $P = VI$ .将给定值代入,

$$(a) P = VI = 2\text{V} \times 4\text{A} = 8\text{W}$$

$$(b) P = VI = 3\text{V} \times (-2)\text{A} = -6\text{W}$$

功率的负号表示电压源给出而不是吸收功率.

$$(c) P = VI = (-6)\text{V} \times (-8)\text{A} = 48\text{W}$$

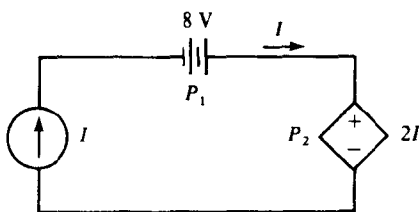


图 1-9

1.25 图 1-9 所示电路图中有一个  $I$  安培的电流源接到一个 8V 独立电压源和一个电流控制的非独立电压源,它提供的电压(以伏特表示)等于通过它的电流(以安培表示)的二倍.对于如下条件,求独立电压源吸收的功率  $P_1$  和非独立电压源吸收的功率  $P_2$ : (a)  $I = 4\text{A}$ ; (b)  $I = 5\text{mA}$ ; (c)  $I = -3\text{A}$ .

解 因为  $I$  的参考箭头指向 8V 电源的负端,吸收功率的公式有负号: $P_1 = -8I$ .对于非独立源,电压和电流参考却是相关的,所以吸收功率为  $P_2 = 2I(I) = 2I^2$ .以给定电流值代入,

$$(a) P_1 = -8(4) = -32\text{W}, P_2 = 2(4)^2 = 32\text{W}.$$

独立源的负功率表明它给出功率而不是吸收.

$$(b) P_1 = -8(5 \times 10^{-3}) = -40 \times 10^{-3}\text{W} = -40\text{mW}$$

$$P_2 = 2(5 \times 10^{-3})^2 = 50 \times 10^{-6}\text{W} = 50\mu\text{W}$$

$$(c) P_1 = -8(-3) = 24\text{W}, P_2 = 2(-3)^2 = 18\text{W}.$$

非独立源吸收的功率保持正值,因为虽然电流方向反转,电压的极性也反转,所以实际的电流仍是流入实际的正端.

1.26 计算图 1-10 所示电路中每个元件吸收的功率.

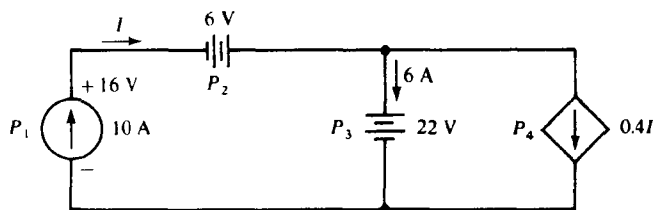


图 1-10

**解** 因为 10A 电流源的电流流出正端, 它吸收的功率是  $P_1 = -16(10) = -160\text{W}$ . 负号表示这一电源不是吸收功率, 而是向电路中其他元件提供功率. 对于 6V 电源, 10A 电流流入负端, 所以  $P_2 = -6(10) = -60\text{W}$ . 对于 22V 电源,  $P_3 = 22(6) = 132\text{W}$ . 最后, 非独立源提供  $0.4(10) = 4\text{A}$  电流. 此电流流入正端, 因为此电源两端也有 22V, 上端为正. 因此,  $P_4 = 22(4) = 88\text{W}$ . 注意

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = -160 - 60 + 132 + 88 = 0\text{W}$$

总和为 0W 表示, 在此电路中, 元件吸收的功率等于供给的功率. 这一结果对每个电路都是正确的.

- 1.27 12V 汽车蓄电池向启动电动机提供 250A, 设电池有  $4 \times 10^6\text{J}$  化学能可以转换成电能, 可以维持多久?

**解** 最好的解法是用  $t = W/P$ . 式中,

$$P = VI = 12 \times 250 = 3000\text{W}$$

所以

$$t = \frac{W}{P} = \frac{4 \times 10^6}{3000} = 1333.33\text{s} = 22.2\text{min}$$

- 1.28 一台直流电动机输出功率 1hp, 求它由 115V 线路取用的电流. 设工作效率为 100%.

**解** 由式  $P = VI$ , 并根据  $1\text{W}/\text{V} = 1\text{A}$  这一关系,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1\text{hp}}{115\text{V}} \times \frac{745.7\text{W}}{1\text{hp}} = 6.48\text{W}/\text{V} = 6.48\text{A}$$

- 1.29 一台电动机输出功率 1hp, 吸收的输入功率为 900W, 求工作效率.

**解**  $\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{1\text{hp}}{900\text{W}} \times \frac{745.7\text{W}}{1\text{hp}} \times 100\% = 82.9\%$

- 1.30 满载的 2hp 直流电动机吸取 19A 于 100V, 问工作效率? (电动机的额定功率规定的是输出功率而不是输入功率.)

**解** 因为输入功率是

$$P_{\text{in}} = VI = 100 \times 19 = 1900\text{W}$$

效率是

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{2\text{hp}}{1900\text{W}} \times \frac{745.7\text{W}}{1\text{hp}} \times 100\% = 78.5\%$$

- 1.31 满载 5hp 电动机工作效率是 80%, 求输入功率.

**解** 几乎在所有的计算中, 效率用小数表示比较好, 它就是百分数除以 100, 本题中为 0.8. 于是由  $\eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$ ,

$$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{out}}}{\eta} = \frac{5\text{hp}}{0.8} \times \frac{745.7\text{W}}{1\text{hp}} = 4.66\text{kW}$$

- 1.32 一台直流电动机工作于 110V 线路, 输出功率 2hp, 效率 85%, 求取用的电流.

**解** 由  $P_{\text{in}} = VI = P_{\text{out}}/\eta$ ,



$$I = \frac{P_{\text{out}}}{\eta V} = \frac{2\text{hp}}{0.85 \times 110\text{V}} \times \frac{745.7\text{W}}{1\text{hp}} = 15.95\text{A}$$

- 1.33 最大可接收太阳能功率大约是  $1\text{kW}/\text{m}^2$ . 如果太阳能板(将太阳能转换成电能)的效率是 13%, 为了向 1600W 烤面包器提供功率, 需要多少平方米的太阳能电池板?

解 每平方米太阳能板的输出功率是

$$P_{\text{out}} = \eta P_{\text{in}} = 0.13 \times 1000 = 130\text{W}$$

所以需用的太阳能板总面积 Area 是

$$\text{Area} = 1600\text{W} \times \frac{1\text{m}^2}{130\text{W}} = 12.3\text{m}^2$$

- 1.34 一台电动机以 2000 加仑每小时(gal/h)的速率提升水到 40ft 高度, 设水泵系统的效率是 80%, 求电动机发出的马力.

解 求功率的解法之一是利用水泵一小时所做的功, 它等于 1 小时内提升的水的重量乘以提升距离. 此功除以时间就是水泵系统的输出功率. 这一功率除以效率就是水泵系统的输入功率, 也就是所需的电动机输出功率. 所需的某些数据为 1gal 水重 8.33lb, 以及  $1\text{hp} = 550(\text{ft} \cdot \text{lb})/\text{s}$ . 于是

$$P = \frac{2000\text{gal}}{1\text{h}} \times 40\text{ft} \times \frac{1}{0.8} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \times \frac{8.33\text{lb}}{1\text{gal}} \times \frac{1\text{hp}}{550(\text{ft} \cdot \text{lb})/\text{s}} = 0.42\text{hp}$$

- 1.35 两个系统串联. 其一的工作效率为 75%, 另外一个的效率是 85%, 如果输入功率是 5kW, 问输出功率?

解  $P_{\text{out}} = \eta_1 \eta_2 P_{\text{in}} = 0.75(0.85)(5000)\text{W} = 3.19\text{kW}$

- 1.36 求千瓦小时和焦耳之间的转换关系.

解 这里用的办法是由千瓦小时转换成瓦特秒, 然后利用  $1\text{J} = 1\text{Ws}$  这一关系:

$$1\text{kWh} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{Ws} = 3.6\text{MJ}$$

- 1.37 电费为每千瓦小时 7 美分(c), 点燃一盏 60W 灯泡 8 小时的费用是多少?

解 费用(Cost)等于总能量乘以能量的单价:

$$\text{Cost} = 60\text{W} \times 8\text{h} \times \frac{1\text{kWh}}{1000\text{Wh}} \times \frac{7\text{c}}{1\text{kWh}} = 3.36\text{c}$$

- 1.38 一台电动机输出功率 5hp, 工作效率 85%. 设电费率为每千瓦小时 6 美分, 求连续运行一天(d)所需费用.

解 所用的总能量等于输出功率乘以运行时间再整个除以效率. 这一能量和电费率的乘积就是总费用(Cost):

$$\text{Cost} = 5\text{hp} \times 1\text{d} \times \frac{1}{0.85} \times \frac{6\text{c}}{1\text{kWh}} \times \frac{0.7457\text{kW}}{1\text{hp}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{d}} = 632\text{c} = \$6.32$$

## 补 充 习 题

- 1.39 求(a)  $6.28 \times 10^{21}$  个电子和(b)  $8.76 \times 10^{20}$  个质子的电荷, 用库仑表示.

答案 (a)  $-1006\text{C}$ ; (b)  $140\text{C}$

- 1.40  $-4\text{nC}$  总电荷有多少个电子?

答案  $2.5 \times 10^{10}$  电子

- 1.41 下列电荷以稳定的运动通过一个开关:(a) 6 秒内 90C; (b) 20 分内 900C; (c) 5 小时内  $4 \times 10^{23}$  个电子. 求电流.

答案 (a) 15A; (b) 0.75A; (c) 3.56A

- 1.42 电容器是存储电荷的电路元件. 设某电容器以稳定的速率在 0.02ms 内充电到 10mC, 又设它在  $1\mu\text{s}$  内以稳定速率放电, 问充电和放电电流的大小.

答案 500A, 10 000A