

高等学校自学·复习·考研用书

电路学习指导

王淑敏 邓存贵 编

西北工业大学出版社

3-44

7.1.3-02
V/38

高等学校自学·复习·考研用书

电路学习指导

王淑敏 邓存贵 编

西北工业大学出版社

1998年9月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书是根据国家教委颁布的高等工业学校《电路课程教学基本要求》，针对电路课程的概念抽象、方法灵活、习题复杂等特点编写的一本辅导教材。全书共分十八章。主要内容包括线性和非线性电阻电路的分析，动态电路的稳态分析，时域分析和复频域分析，以及网络图论等。每章均包括基本要求、基本理论、难点分析、问题讨论、典型题目分析和自我检查题。本书侧重于对重点和难点的分析和引导，便于学生掌握学习方法和规律。书末的附录中编入两套研究生入学电路试题和一套本科电路结业试题，供读者自检参考。

本书可作为高等工科院校自动控制及电子工程各专业的本科和专科学生的辅助教材；也可作为有关专业研究生入学考试人员的参考书，同时还适用于电视大学、函授大学和参加高等教育自学考试的人员学习。

高等学校自学·复习·考研用书

电路学习指导

王淑敏 邓存贵 编

责任编辑 王 璐

责任校对 钱伟峰

*

©1998 西北工业大学出版社出版发行
(邮编:710072 西安市友谊西路127号 电话:8493844)

全国各地新华书店经销

空军电讯工程学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-0804-9/TN·34

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18 字数:432 千字
1995年9月第1版 1998年9月第3次印刷
印数:7 001-11 000 册 定价:19.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前言

本书系根据高等工业学校《电路课程教学基本要求》，为帮助学生学习电路课程而编写的一本辅导教材。

基于上述目的，在本书编写中，编者坚持既要有利于学生掌握电路的基本原理，又要引导学生能运用基本原理的宗旨，总结运用了在高校多年教学和教学研究的经验与成果，并吸取了同类辅助教材的优点，特别在如何促进和引导学生自学上下了功夫。全书共分十八章，每章均包括六个方面的内容。

1. 基本任务和基本要求 用简明的语言指出各章内容的中心、重点和应掌握的程度，给学生学习各章以方向 and 目标的指导。

2. 基本理论 本书内容既不是教材的简单重复，又不是教材浓缩式的提要，而是根据各章的内在逻辑，对中心和重点内容归纳为几个问题加以论述，给学生学习该章应必须掌握的理论以顺序和思路的指导。

3. 难点分析 难点不一定就是重点，但难点的解决对重点的掌握有决定的作用。难点往往是相对的，不同素质的学生，难点可能不一样。本书根据各章原理的固有难度，对学生学习中常出现的普遍困难作了分析。为学生顺利地掌握本章内容排除困难给予指导。

4. 问题讨论 这是排除难点的继续。与读者在疑惑或含混不清的问题上，以平等的研究方法交流体会、沟通看法、澄清误解，达到双方正确理解的贯通，从而给学生以互相学习和共同提高的指导。

5. 典型题目分析 这是教材中心和重点内容的应用和扩展。本书各章对大量题目在解题的依据、思路、步骤、方法、计算、特点和技巧等方面作了仔细的分析，给学生实际能力的培养和知识的深化作了具体运用的指导。

6. 自我检查题 包括满足章节要求的基本题目和灵活运用本章内容的综合性的高层次题目。学生作了这些题目，可以知道自己掌握内容的程度，从而给学生了解和改进自己的学习状况以自我鞭策的指导。

在书末附录中编入了一套本科试题和二套研究生入学试题，供学生全面复习时使用。

读者在学习时，应以教材为基础，以本书为理解、掌握、应用和加深巩固的工具和钥匙。教材中写得简要而学生可能有困难的地方，本书有适当的扩充。书中打*的内容系进一步的要求，读者可按需要选学。

本书由西北工业大学教师编写。其中第一、二、三、四、五、六、七、九章，由邓存贵编写，第八、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八章及附录，由王淑敏编写并负责全书统稿。

在本书编写过程中，得到了教研室全体教师的支持，范世贵教授、段哲民副教授

审阅了全稿并提出了许多宝贵的意见，在此致以衷心的感谢。

限于编者水平，书中不妥之处，在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1995 年 3 月于西安西北工业大学

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律	1
基本要求	1
基本理论	1
一、理想元件和电路模型	1
二、电路基本变量及其参考方向	2
三、元件的伏安关系	3
四、基尔霍夫电压定律和电流定律	5
难点分析	5
问题讨论	9
典型题目分析	10
自我检查题	12
第二章 电路的等效变换	15
基本要求	15
基本理论	15
一、无源二端电阻串、并联网络的等效	15
二、简单的有源二端网络的等效变换	16
三、无源三端网络 T 形和 π 形的等效变换	20
难点分析	21
问题讨论	25
典型题目分析	26
自我检查题	28
第三章 线性电路分析的基本方法	31
基本要求	31
基本理论	31
一、支路电流法	31
二、网孔电流法和节点电压法	32
难点分析	34
问题讨论	40
典型题目分析	41
自我检查题	44
第四章 线性电路定理	47

基本要求	47
基本理论	47
一、叠加定理、齐次定理和替代定理	47
二、等效电源定理	49
三、最大功率传输定理	51
四、互易定理	51
难点分析	51
问题讨论	56
典型题目分析	57
自我检查题	60
第五章 非线性电阻电路	62
基本要求	62
基本理论	62
一、非线性电阻元件	62
二、非线性电阻的串联和并联	63
三、非线性电阻电路常用的分析方法	64
四、非线性电阻电路的节点电压方程和牛顿-拉夫逊迭代式	66
难点分析	66
问题讨论	67
典型题目分析	68
自我检查题	72
第六章 正弦稳态分析	74
基本要求	74
基本理论	74
一、正弦量和相量	74
二、电路基本定律的相量形式	76
三、正弦稳态功率	78
四、最大功率传输	79
五、正弦稳态电路的分析计算	79
六、三相电路的概念	81
难点分析	83
问题讨论	89
典型题目分析	89
自我检查题	95
第七章 耦合电感与理想变压器	97
基本要求	97
基本理论	97

一、耦合电感元件	97
二、耦合电感及空心变压器电路分析	100
三、理想变压器及全耦合变压器	101
难点分析	103
问题讨论	105
典型题目分析	106
自我检查题	111
第八章 网络图论与网络方程	113
基本要求	113
基本理论	113
一、有关图的基本定义和概念	113
二、图的矩阵表示	114
三、网络的矩阵分析法	115
四、特勒根定理	117
难点分析	117
问题讨论	123
典型题目分析	124
自我检查题	131
第九章 谐振电路	134
基本要求	134
基本理论	134
一、串、并联谐振电路的特点和规律	134
二、串、并联谐振电路频率特性及通用谐振曲线	135
*三、耦合谐振电路	137
难点分析	138
问题讨论	139
典型题目分析	140
自我检查题	143
第十章 非正弦周期电流电路	145
基本要求	145
基本理论	145
一、非正弦周期电量的分解	145
二、有效值、平均值和平均功率	147
三、非正弦周期电流电路的稳态分析	149
难点分析	149
问题讨论	154
典型题目分析	155

自我检查题	160
第十一章 二端口网络	162
基本要求	162
基本理论	162
一、二端口网络的基本方程和基本参数	162
二、二端口网络的联接及等效电路	165
三、二端口网络的网络函数	167
四、二端口网络的特性参数和匹配	168
难点分析	168
问题讨论	172
典型题目分析	172
自我检查题	176
第十二章 含运算放大器的电路	178
基本要求	178
基本理论	178
一、运算放大器	178
二、含运算放大器电路的分析	179
三、回转器	181
四、负阻抗变换器	181
难点分析	181
问题讨论	183
典型题目分析	184
自我检查题	187
第十三章 一阶电路时域分析	188
基本要求	188
基本理论	188
一、换路定律及初始值的确定	188
二、一阶电路微分方程的建立及求解方法	189
三、RC 电路和 RL 电路的响应	191
难点分析	192
问题讨论	203
典型题目分析	204
自我检查题	210
第十四章 二阶与高阶电路时域分析	212
基本要求	212
基本理论	212

一、RLC 串联电路的零输入响应	212
二、RLC 串联电路的阶跃响应和冲激响应	213
三、一般的二阶电路及高阶电路	214
难点分析	216
问题讨论	219
典型题目分析	220
自我检查题	226
第十五章 复频域分析法	228
基本要求	228
基本理论	228
一、拉普拉斯变换及其基本性质	228
二、基尔霍夫定律及电路元件伏安关系的复频域形式	230
三、电路过渡过程的复频域分析	232
难点分析	232
问题讨论	235
典型题目分析	235
自我检查题	241
第十六章 网络函数	243
基本要求	243
基本理论	243
一、网络函数的定义及其性质	243
二、网络函数的极点和零点及极、零点图	244
三、网络函数的极点、零点与冲激响应	244
四、网络函数的极点、零点与频率响应	244
难点分析	245
问题讨论	249
典型题目分析	250
自我检查题	253
第十七章 状态变量法	255
基本要求	255
基本理论	255
一、基本概念与定义	255
二、状态方程与输出方程的列写	256
三、状态方程与输出方程的复频域解	256
四、状态方程与输出方程的时域解	257
难点分析	257
问题讨论	259

典型题目分析·····	259
自我检查题·····	262
第十八章 非线性动态电路 ·····	264
基本要求·····	264
基本理论·····	264
一、非线性电容元件和电感元件·····	264
二、非线性动态电路状态方程的列写·····	265
三、分段线性化法·····	265
四、非线性动态电路的一些特殊问题·····	266
难点分析·····	266
问题讨论·····	268
典型题目分析·····	268
自我检查题·····	270
附录 综合测试题 ·····	272
参考文献 ·····	277

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章的基本任务是学习电路的基本概念和基本定律，为以后各章研究电路基本理论和基本分析计算方法奠定必要的基础。

基本要求

- (1) 牢固掌握理想元件、电路模型、参考方向及关联参考方向等概念。
- (2) 深刻理解电压、电流、功率等物理量的意义和各量之间的关系。
- (3) 牢固掌握和熟练应用元件（电阻、电压源、电流源和受控源）的伏安关系和基尔霍夫电压定律及电流定律。
- (4) 树立用电路基本定律分析电路的观念。

基本理论

为了完成本章的任务和达到上述要求，关键在于掌握元件的伏安关系和基尔霍夫定律。为此，必须先掌握理想元件和电路模型，理解描述电路的工作状态的基本变量及其参考方向。然后集中掌握电路的两种约束关系：一种是反映节点上各支路电流间的约束关系和回路中各支路电压间的约束关系，即基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）；一种是反映电路元件自身电流和电压间的约束关系，即元件的伏安关系（VAR）。这两种约束关系揭示了电路中电磁变化的基本规律，形成了电路的基本定律，是电路分析的基本依据。

一、理想元件和电路模型

电路分析的对象是电路模型。电路模型是按一定方式、相互联接着的理想电路元件的集合。

实际电器种类繁多、电磁性能复杂，不便于建立数学关系，也就很难定量地进行电路分析和电路设计。因此，在电路理论中，实际电器总是被科学抽象地用能够准确地反映它的主要电磁性能的理想元件来表征。例如，理想电阻元件就是对电阻器、电炉、电烙铁等器件，忽略其微弱的电场和磁场特性，用消耗电能的主要电磁性能来表征；理想电源元件就是对电池、发电机等电器，忽略其消耗电能的特性，用提供电能的主要电磁性能来表征；理想电感和理想电容是分别用磁场储能和电场储能来表征。

理想电路元件恰当地组合，能够相当精确地表示实际电器的电磁性能。例如在低频条件下理想电阻和电压源的串联，就恰如其分地表示了一个电池的电磁性能。因此把理想电路元件联接起来所组成的电路模型，不仅能够反映实际电路及其器件的基本物理规律，而且能够对其进行数学描述。这就是电路理论把电路模型作为分析研究对象的实质所在。

电阻是反映电路元件能量损耗性质的参数，电感和电容是分别反映磁场储能和电场储能

性质的电路参数。如果所研究的电路其尺寸远小于电路工作时电磁波的波长,就可忽略电磁过程连续分布的特性,认为它是集中在元件内部进行的,即任何时刻元件两端间的电压为定值,从一端流入和从另一端流出的电流恒等。这种理想元件称为集中参数元件。其中,端电压和通过的电流呈一次函数关系,且其参数不随电压、电流和时间而变的集中参数元件称为线性定常(时不变)元件。本书将集中研究由这类元件组成的集中参数、线性定常电路。

二、电路基本变量及其参考方向

1. 电路分析的基本变量

为了定量描述电路的电磁过程和状态,引入了电流、电压、电荷、磁链、能量、功率等物理量。其中电流和电压能够很方便地表示其他量,特别是能够表示电路元件、一段电路和整个电路的功率和能量。因此,通常选用电流和电压作为基本变量。它们的定义式分别为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad u = \frac{dW}{dq}$$

2. 电流、电压的参考方向

电流的实际方向是正电荷运动的方向。电压的实际方向是电压降的方向。由于电流和电压均是具有大小和方向的代数量。如图1-1所示,一个电路元件中电流的方向和电压的极性不是由A到B就是由B到A,实际方向和极性很难立即确定,如果是交变电流就更难。因此就引入参考方向的概念。

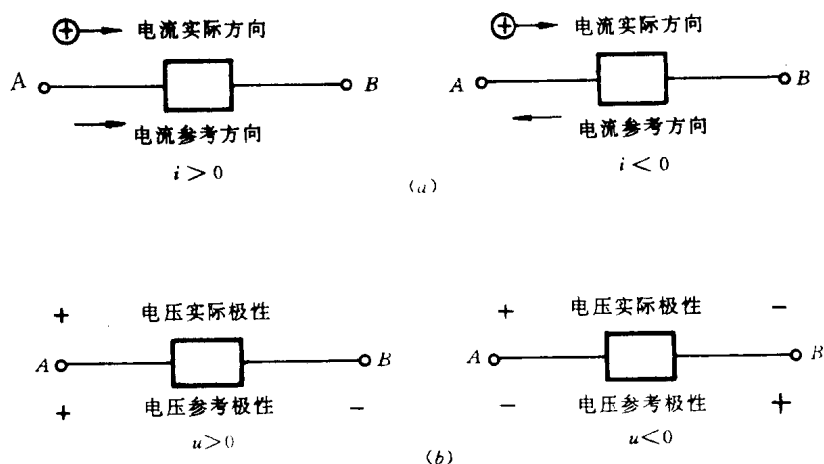


图 1-1

电流的参考方向用“→”或 i_{AB} 表示,电压的参考极性用“+”、“-”或 u_{AB} 表示。下标 AB 表示电流由A到B或电压极性由A指向B。

电流的参考方向和电压的参考极性是任意指定的,它不一定是真实方向或极性。如果 $i > 0$, $u > 0$,则两者一致;否则,如果 $i < 0$, $u < 0$,则两者相反。

3. 关联参考方向

为分析电路方便,对一个元件或一段电路,常指定其电流从电压的“+”极性端流向“-”极性端。这种电流和电压取一致的参考方向,叫关联参考方向。

参考方向在电路分析中起着十分重要的作用:

- (1) 它是分析电路的前提；
- (2) 各种关系式都是在一定参考方向下表示的；
- (3) 电路方程是以参考方向为准而建立的。因此参考方向一旦选定,就要以此为准,否则会引起分析的混乱。

4. 元件吸收功率和发出功率

如图1-2所示,在关联参考方向下,元件上吸收的电功率 p 定义为

$$p = ui$$

当 $p > 0$ 时元件的确吸收功率;当 $p < 0$ 时元件实际发出功率。若在非关联参考方向下,则相反。

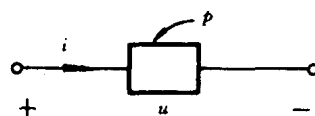


图 1-2

三、元件的伏安关系

元件的伏安关系是指流过元件的电流和元件两端电压之间的关系,是元件本身的约束。

元件按其能量特性分为无源元件和有源元件;按其外部端钮或端口数目分为二端或一端元件和多端或多端口元件。现对无源二端元件电阻、有源二端元件理想电压源和理想电流源及有源多端元件四种受控源等的伏安关系分别以表归纳如下。

1. 线性电阻元件的伏安关系(表 1-1)

表 1-1 线 性 电 阻

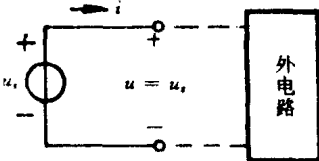
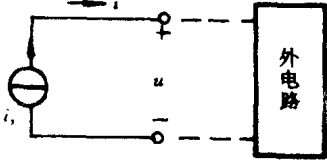
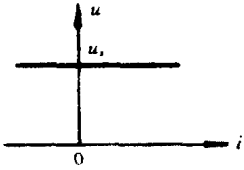
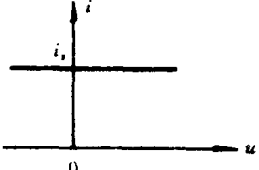
定 义	端电压 u 和流过的电流 i 呈线性函数关系的二端元件	
电路模型		
伏安特性	$u = Ri^{\text{①}}, \quad i = Gu \left(G = \frac{1}{R} \text{ 为常量} \right)$	
元件性质	耗能,无记忆	
功 率	$p = ui = Ri^2$ ^①	
能 量	$w = \int_0^t Ri^2(\xi) d\xi$	

① 非关联参考方向则 $u = -Ri, i = -Gu, p = -ui$ 。

2. 理想电压源和电流源的伏安关系(表 1-2)

理想电源在电路分析中需要特殊对待,应下功夫理解它的端口性质和特点。

表 1-2 理想电压源和电流源

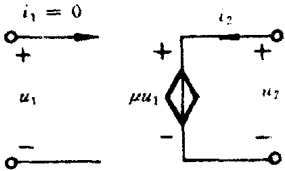
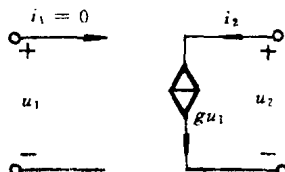
电 源	理 想 电 压 源	理 想 电 流 源
定 义	独立产生电压,其端电压不随输出电流而变化的二端元件	独立产生电流,其输出电流不随端电压而变化的二端元件
电路模型		
伏安特性 ^①		
特 点	1. 内阻为零; 2. 端电压恒定或是给定的时间函数; 3. 电流随外接电路的不同而不同	1. 内阻无穷大; 2. 电流恒定或是给定的时间函数; 3. 端电压随外接电路的不同而不同
模型实例	晶体管稳压电源	光电池
电源为零	电压源短路	电流源开路

① 伏安特性曲线对直流适用于所有时间 t , 对变化电流仅适用于某一时刻 t_1 。

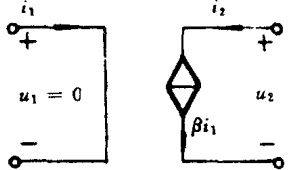
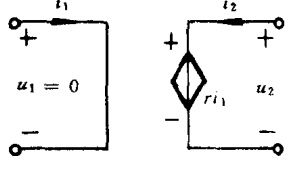
3. 理想受控源端口的电压、电流特性

受控源是反映电子器件物理性能的一种理想元件,与独立源不同,它不能直接起“激励”作用,其电压或电流都不是给定的时间函数,而受电路中另一支路的电压或电流的控制。这样,受控源就有了控与被控的两条支路、两个端口和四种类型(表 1-3)。

表 1-3 四种受控源

控制类型	电 路 模 型	端 口 特 性	控制系数	模型实例
电压控制 电压源 (VCVS)		$i_1 = 0$ $u_2 = \mu u_1$	转移电压比 μ	三极电子管 理想变压器
电压控制 电流源 (VCCS)		$i_1 = 0$ $i_2 = g u_1$	转移电导 g	五极电子管 场效应管

续表

控制类型	电路模型	端口特性	控制系数	模型实例
电流控制 电流源 (CCCS)		$u_1 = 0$ $i_2 = \beta i_1$	转移电流比 β	晶体三极管
电流控制 电压源 (CCVS)		$u_1 = 0$ $u_2 = r i_1$	转移电阻 r	直流发电机 热电偶

学习受控源要注意掌握它的受控关系、端口特性、与独立源的区别,牢记当控制系数 μ , g , β , r 为常数时,则受控源的电压或电流是控制电压或电流的线性函数。

四、基尔霍夫电压定律和电流定律

基尔霍夫电流定律和电压定律简称 KCL 和 KVL,分别是组成电路的各支路电流的约束关系和各支路电压的约束关系,是分析节点处各电流和回路中各电压的依据(表 1-4)。

表 1-4 基尔霍夫定律

定律简称	KCL	KVL
约束关系	节点处各电流的相互约束	回路中各电压的相互约束
定律表述	任一瞬时任一节点处各电流的代数和恒等于零(流出为正,流入为负)	任一瞬时任一回路各电压的代数和恒等于零(与回路参考绕向一致的电压取正,否则为负)
数学式	$\sum i = 0$ 或 $\sum i_k = \sum i_{\bar{k}}$	$\sum u = 0$ 或 $\sum R_k i_k = \sum u_{\bar{k}}$
物理实质	是电流连续性和电荷守恒的表现	是能量守恒和电位单值性的结果
使用范围	取决于电路的拓扑结构,与电路元件性质无关,适用于一切集中参数电路,可推广于广义节点(闭合面)	同左 可推广于假想回路

难点分析

由元件的伏安关系和基尔霍夫定律所组成的电路基本定律是贯穿在电路理论始终的,是分析电路的根本依据,无疑是本章的重点。参考方向、元件是吸收功率还是发出功率、理想电压

源、电流源和受控源是掌握和熟练运用这个重点的难点。不少人在知识惯性的促使下,不能顺利地接受、理解和运用这些新内容。因此,读者必须树立学习电路课首先要下决心掌握这些新概念的思想,然后可从以下两个方面通过具体例题来掌握。

1. 参考方向和真实方向

【例 1-1】 图 1-3(a) 所示元件两端电压为 1 V,若已知正电荷由该元件的 B 端移向 A 端获得能量,(1) 试标出电压的真实极性写出相应的电压表示式;(2) 选择该电压的参考极性写出相应的电压表示式。

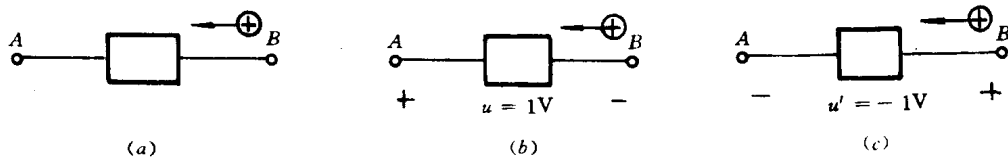


图 1-3

解 (1) 正电荷由 $B \rightarrow A$ 获得能量是电压升,则 B 端为“-”极性,A 端为“+”极性。而电压的真实极性是电压降,即由 A 指向 B,如图 1-3(b) 所示。电压的表示式为 $u = 1\text{ V}$ 。

(2) 电压的参考极性可任意选定,有两种可能:一是由 $A \rightarrow B$,如图 1-3(b) 所示,则参考极性与真实极性一致,故 $u = 1\text{ V}$;一是由 $B \rightarrow A$,如图 1-3(c) 所示,参考极性与真实极性相反,故 $u' = -1\text{ V}$ 。参考极性两种不同的选择,相应的电压表示式差一负号。

【例 1-2】 图 1-4(a) 所示流过元件的电流为 1 A,若已知正电荷由 A 到 B:(1) 试标出电流的真实方向写出相应的电流表示式;(2) 选择电流的参考方向写出电流的表示式。



图 1-4

解 (1) 电流的真实方向是正电荷移动的方向,即由 $A \rightarrow B$,如图 1-4(a) 所示, $i = 1\text{ A}$ 。

(2) 电流的参考方向有两种选择,一种如图 1-4(a) 所示,由 $A \rightarrow B$,则参考方向与真实方向一致,故 $i = 1\text{ A}$;一种如图 1-4(b) 所示,由 $B \rightarrow A$,则参考方向与真实方向相反,故 $i' = -1\text{ A}$ 。参考方向两种不同的选择,电流表示式差一负号。

一切电路都是在指定参考方向的前提下进行分析的,为了方便总是采取关联参考方向,而且在可能的情况下,尽量把参考方向指定的和真实方向一致。

2. 参考方向、理想电源和功率

【例 1-3】 确定图 1-5(a), (b), (c), (d) 所示四个电路中各元件上的电压、电流和功率,并指出是吸收功率还是发出功率,校核功率平衡关系。

解 所求各元件上的电压、电流、功率均以元件量值为注角。根据 KVL 和 KCL 利用理想电源的基本性质和关联参考方向下元件吸收功率的定义,对图 1-5(a) 有