

高等学校电子信息与电气学科基础教材



电工技术基础 学习辅导与习题详解

钱建平 孙建红 徐行健 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电子信息与电气学科基础教材

电工技术基础学习辅导与习题详解

钱建平 孙建红 徐行健 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是《电工技术基础》的配套教材,全书共 11 章,包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的频率特性、电路的暂态分析、磁路与变压器、异步电动机、继电-接触器控制、直流电动机、可编程控制器。每章都包含 5 部分内容,分别为基本要求、基本理论、例题分析、选择填空题、习题详解。书末附有选择填空题参考答案。

本书将指导学生进行“电工技术基础”、“电工学”等类似课程的课后复习,巩固课堂讲授的电工技术基础基本理论,培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础学习辅导与习题详解/钱建平,孙建红,徐行健编著. —北京:电子工业出版社,2006.3

高等学校电子信息与电气学科基础教材

ISBN 7-121-02397-0

I. 电… II. ①钱…②孙…③徐… III. 电工技术—高等学校—教学参考资料 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 022024 号

责任编辑:王 颖 王 纲

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:15.75 字数:364 千字

印 次:2006 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:22.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

“电工技术基础”是高等学校非电类相关专业的一门理论基础课。教师在课堂上讲授电工技术基础的基本理论知识后,学生要复习这些内容,同时还要动手对习题进行计算求解,以进一步深刻地理解所学过的理论知识,培养和提高灵活运用这些基本理论去分析和解决问题的能力。

本书是《电工技术基础》(电子工业出版社出版)的配套教材,全书共 11 章,包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的频率特性、电路的暂态分析、磁路与变压器、异步电动机、继电-接触器控制、直流电动机、可编程控制器。

本书每章由下述 5 部分内容组成。

1. 基本要求——根据国家工科电工课程教学指导委员会制订的高等学校电工技术基础教学的基本要求和内容,指出学生应该掌握的程度。

2. 基本理论——概括本章主要内容的基本概念、基本定理、基本分析方法,突出重点,澄清疑点,解释难点,便于学生清晰地了解和掌握本章主要内容。

3. 例题分析——通过对本章主要内容的典型问题的分析和计算,给出分析和计算的思路、方法和规律,使学生更好地掌握基本内容,巩固重点内容,攻克疑难内容,加深对基本概念、基本定律、基本定理的理解,并扩展解题的思路。

4. 选择填空题——由选择题和填空题组成。书末给出参考答案,有利于学生自学、自练和自查,以提高对课程基本内容的掌握程度。

5. 习题详解——通过对《电工技术基础》一书各章的习题的分析和计算,给学生以解题的启示,培养学生分析和解决问题的能力。

参加本书编写的有南京理工大学钱建平(第 1、2、6、7、9 章)、孙建红(第 3、4、5、8 章)、徐行健(第 10、11 章)。

本书由黄锦安教授仔细审阅并提出了很多宝贵意见。在编写过程中还得到了南京理工大学教材科、教务处教学研究科、自动化系领导及电工教研室同志的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

限于编者水平,对书中的不足和错误之处,恳请读者给予批评指正。

编著者

2005 年 8 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 基本要求	(1)
1.2 基本理论	(1)
1.2.1 电路与电路模型	(1)
1.2.2 电路的基本物理量及其参考方向	(2)
1.2.3 电阻元件	(3)
1.2.4 独立电源——电压源与电流源	(4)
1.2.5 电路的三种状态	(5)
1.2.6 基尔霍夫定律	(6)
1.2.7 二端网络与等效变换	(7)
1.2.8 电位的计算	(8)
1.2.9 非独立源——受控源	(9)
1.3 例题分析	(9)
1.4 选择填空题	(13)
1.5 习题详解	(15)
第 2 章 电路的分析方法	(27)
2.1 基本要求	(27)
2.2 基本理论	(27)
2.2.1 支路电流法	(27)
2.2.2 网孔电流法	(28)
2.2.3 节点电压法	(29)
2.2.4 叠加定理	(30)
2.2.5 等效电源定理	(30)
2.2.6 负载获得最大功率的条件	(31)
2.2.7 含受控源电路的分析计算方法	(32)
2.2.8 电路的对偶性	(32)
2.2.9 非线性电阻电路	(32)
2.3 例题分析	(33)
2.4 选择填空题	(38)
2.5 习题详解	(40)

第3章 正弦稳态分析	(57)
3.1 基本要求	(57)
3.2 基本理论	(57)
3.2.1 正弦交流电的基本概念	(57)
3.2.2 正弦量的相量表示法	(58)
3.2.3 正弦交流电路中的电阻元件、电感元件和电容元件	(59)
3.2.4 阻抗和导纳	(60)
3.2.5 正弦稳态电路的分析与计算	(61)
3.2.6 正弦稳态电路的功率	(62)
3.2.7 功率因数的提高	(63)
3.3 例题分析	(63)
3.4 选择填空题	(70)
3.5 习题详解	(73)
第4章 三相交流电路	(84)
4.1 基本要求	(84)
4.2 基本理论	(84)
4.2.1 三相电源	(84)
4.2.2 三相负载电路	(87)
4.2.3 三相电路的功率	(90)
4.2.4 安全用电	(90)
4.3 例题分析	(90)
4.4 选择填空题	(96)
4.5 习题详解	(97)
第5章 电路的频率响应和谐振现象	(104)
5.1 基本要求	(104)
5.2 基本理论	(104)
5.2.1 非正弦周期交流电的概念	(104)
5.2.2 RC串联电路的频率特性	(105)
5.2.3 RLC串联谐振电路	(107)
5.2.4 LC并联谐振电路	(109)
5.3 例题分析	(110)
5.4 选择填空题	(115)
5.5 习题详解	(116)
第6章 电路的暂态分析	(122)
6.1 基本要求	(122)
6.2 基本理论	(122)

6.2.1	换路定则与电压和电流初始值的确定	(122)
6.2.2	RC 电路的放电过程	(123)
6.2.3	RC 电路的充电过程	(124)
6.2.4	一阶直流、线性电路瞬变过程的一般求解方法——三要素法	(126)
6.2.5	微分电路与积分电路	(127)
6.2.6	RL 电路的瞬变过程	(128)
6.2.7	RLC 串联电路的放电过程	(131)
6.3	例题分析	(132)
6.4	选择填空题	(138)
6.5	习题详解	(140)
第 7 章	磁路与变压器	(156)
7.1	基本要求	(156)
7.2	基本理论	(156)
7.2.1	磁路基本知识	(156)
7.2.2	磁路基本定律	(158)
7.2.3	交流铁心线圈电路	(158)
7.2.4	变压器	(160)
7.2.5	电磁铁	(165)
7.3	例题分析	(166)
7.4	选择填空题	(168)
7.5	习题详解	(169)
第 8 章	异步电动机	(179)
8.1	基本要求	(179)
8.2	基本理论	(179)
8.2.1	三相异步电动机的结构	(179)
8.2.2	三相异步电动机的转动原理	(180)
8.2.3	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(180)
8.2.4	三相异步电动机的起动、调速、反转及制动	(183)
8.2.5	三相异步电动机的铭牌数据	(184)
8.2.6	三相异步电动机的选择	(184)
8.2.7	单相异步电动机	(184)
8.3	例题分析	(185)
8.4	选择填空题	(187)
8.5	习题详解	(188)
第 9 章	继电-接触器控制	(192)
9.1	基本要求	(192)

9.2 基本理论	(192)
9.2.1 几种常用低压电器	(192)
9.2.2 继电-接触器控制线路的绘制与阅读	(195)
9.2.3 三相笼型电动机直接起动控制线路	(195)
9.2.4 三相笼型异步电动机的正反转控制	(196)
9.2.5 行程控制	(197)
9.2.6 时间控制	(198)
9.2.7 联锁环节	(199)
9.3 例题分析	(200)
9.4 选择填空题	(202)
9.5 习题详解	(204)
第10章 直流电动机	(209)
10.1 基本要求	(209)
10.2 基本理论	(209)
10.2.1 直流电动机的结构	(209)
10.2.2 直流电动机的工作原理	(209)
10.2.3 直流电动机的励磁方式	(210)
10.2.4 并励电动机的机械特性	(211)
10.2.5 并励电动机的起动和反转	(211)
10.2.6 并(他)励电动机的调速	(212)
10.3 例题分析	(214)
10.4 选择填空题	(216)
10.5 习题详解	(217)
第11章 可编程控制器	(221)
11.1 基本要求	(221)
11.2 基本理论	(221)
11.2.1 可编程控制器的分类与功能	(221)
11.2.2 可编程控制器的特点与工作方式	(221)
11.2.3 可编程控制器的编程语言及常用指令	(222)
11.2.4 可编程控制器的程序设计方法和应用	(228)
11.3 例题分析	(229)
11.4 选择填空题	(233)
11.5 习题详解	(233)
选择填空题参考答案	(240)

第1章 电路的基本概念与基本定律

1.1 基本要求

- (1) 了解电路的组成和作用。
- (2) 掌握电压和电流参考方向的概念,在电路分析中,电路方程是在标出电压和电流参考方向的前提下列写的。
- (3) 熟练地掌握欧姆定律,掌握理想电路元件(电阻、独立电源)的电压和电流参考方向的标示方法,以及在此标示的参考方向下元件的伏安方程的列写和功率的计算。
- (4) 正确理解电路的三种状态(有载工作、开路、短路)。
- (5) 灵活、准确地掌握和应用电路分析的依据——基尔霍夫定律,这是本章的重点。
- (6) 掌握电阻串、并联等效电阻的计算、电阻串联的分压公式和电阻并联的分流公式,熟练掌握实际电压源与实际电流源的等效变换。
- (7) 了解电位的概念,掌握计算电位的方法。了解受控源的概念。

1.2 基本理论

1.2.1 电路与电路模型

1. 作用

- (1) 实现能量的传输与转换;
- (2) 传递与处理信号;
- (3) 存储信息。

2. 组成

由电源、负载和中间环节组成。电源是产生电能和电信号的装置,负载是取用电能的装置,中间环节是传输、控制电能或信号的部分。

3. 电路模型

电路模型就是实际电路理想化的模型。电路模型由各种理想电路元器件按一定方式连接而成。理想电路元件是实际电路元器件的理想化或者近似模拟。理想电阻、电感、电容和电源元件分别表征了消耗电能、储存磁场能量、储存电场能量和提供电能的现象。电路模型的物理

性质可用数学式描述,而实际电路的物理现象可用各种电路模型组合表示,从而实际电路的分析可以从电路模型的分析着手。本书后面章节所讨论的电路都是电路模型。

1.2.2 电路的基本物理量及其参考方向

1. 电流

电流指单位时间内通过导体横截面的电量,瞬时值形式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

当电流为直流时,有

$$I = \frac{q}{t}$$

式中,电流单位为安培(A),常用还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)。

2. 电流的参考方向

电流的实际方向是正电荷运动方向,但在较复杂的直流电路中就难以事先判断,若电流交变则更难判断,因此引出参考方向。电流的参考方向用“ $\rightarrow$ ”表示。

3. 电压

电压指电场力把单位正电荷由 A 点移到 B 点所做的功,瞬时值形式为

$$u_{AB} = \frac{dW}{dq}$$

式中,电压单位为伏特(V),常用的还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)。

4. 电动势

电动势指电源力把单位正电荷由电源低电位端经电源内部移到电源高电位端所做的功。

5. 电压、电动势的参考方向

电压的实际方向是电压降方向,电动势的实际方向是电位升的方向。电压、电动势的参考方向(或极性)用“ $\rightarrow$ ”(或“+”、“-”号)表示,也可用双下标表示,如 u_{AB} 表示 A 指向 B, e_{BA} 表示 B 指向 A。

参考方向是重点,也是难点。分析电路时应注意:(1)电路中标出的电流和电压的方向都是参考方向,当电流或电压的实际方向同参考方向一致时,电流或电压为正值;反之,当电流或电压的实际方向同参考方向相反时,电流或电压为负值。电流或电压的正负仅相对参考方向而言,根据电流或电压的正负,再结合其参考方向就可判断实际方向。(2)电路中电流和电压的参考方向是任意指定的,为方便,常采用关联参考方向,即电压与电流取一致的参考方向。参考方向一经标定,电路方程的列写就必须在标定的参考方向下进行。

6. 功率

在电流和电压关联参考方向下,元件吸收的功率

$$p = ui$$

式中, $p > 0$ 表示该元件吸收功率, $p < 0$ 表示该元件发出功率。 p 的单位为瓦(W),常用的还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。在电流和电压非关联参考方向下,则用

$$p = -ui$$

式中, $p > 0$ 表示该元件吸收功率, $p < 0$ 表示该元件发出功率。

1.2.3 电阻元件

1. 欧姆定律

通过元件的电流与其两端的电压成正比。

2. 线性电阻

任意瞬时,电阻两端的电压与通过它的电流的关系服从欧姆定律,其伏安关系曲线(元件上电压与电流的关系曲线)为 $i \sim u$ 平面上正斜率的过坐标原点的一条直线。在后面章节中,不作特殊说明时,电阻指线性电阻。电阻单位为欧(Ω),常用的还有兆欧(M Ω)、千欧(k Ω)。

3. 电导

电阻的倒数, $G = \frac{1}{R}$ 。电导单位为西门子(S)。

4. 线性电阻的伏安关系

在电流和电压关联参考方向下,

$$u = Ri$$

或

$$i = Gu$$

直流电路时可写为

$$U = RI \quad I = GU$$

在电流和电压非关联参考方向下,

$$U = -RI \quad I = -GU$$

5. 功率

在电流和电压关联参考方向下,电阻的功率

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

或

$$P = UI = GU^2 = \frac{I^2}{G}$$

式中, $P \geq 0$ 说明电阻不会发出功率, 电阻是耗能元件。

1.2.4 独立电源——电压源与电流源

1. 电压源

电压源一般指理想电压源, 它独立地产生电压, 且其端电压不随输出电流而变化。它有两个特点: ①端电压恒为 U_s 或一定的时间函数 $u_s(t)$ 与流过的电流无关; ②流过电压源的电流的大小和方向随外电路变化而变化。

直流电压源的伏安特性曲线是 $i \sim u$ 平面上平行于 i 的一条直线, 如图 1.1 所示。

2. 实际电压源

实际电压源由电压源串联电阻构成, 如图 1.2 所示。实际电压源的输出方程为 $U = U_s - R_o I$, 其伏安特性曲线如图 1.3 所示。

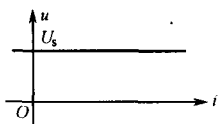


图 1.1 直流电压源的
伏安特性曲线

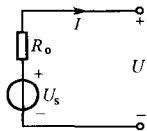


图 1.2 实际电压源

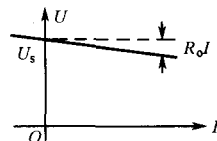


图 1.3 实际电压源的
伏安特性曲线

3. 电流源

电流源一般指理想电流源, 它独立地产生电流, 且其输出电流不随端电压而变化。它有两个特点: ①输出电流恒为 I_s 或一定的时间函数 $i_s(t)$, 与端电压无关; ②电流源两端的电压的大小和方向随外电路变化而变化。

直流电流源的伏安特性曲线是 $i \sim u$ 平面上平行于 u 轴的一条直线, 如图 1.4 所示。

4. 实际电流源

实际电流源由电流源并联电阻构成, 如图 1.5 所示。实际电流源的输出方程为 $I = I_s - \frac{U}{R_o}$, 其伏安特性曲线如图 1.6 所示。

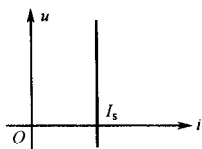


图 1.4 直流电流源的
伏安特性曲线

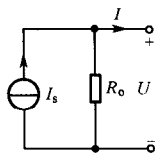


图 1.5 实际电流源

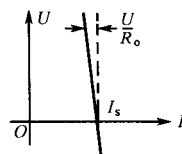


图 1.6 实际电流源的
伏安特性曲线

1.2.5 电路的三种状态

1. 有载工作状态

在图 1.7 所示电路中,开关 K 闭合时电源与负载接通的状态。此时,

$$I = \frac{U}{R_o + R_L}, \quad U = U_s - R_o I$$

2. 额定值

额定值是制造厂为使产品能在给定工作条件下正常运行而规定的容许值。实际值不一定等于额定值,小于额定值时称负载为轻载或空载状态,大于额定值时称负载为过载或超载状态,等于额定值时称负载为满载状态。

3. 开路状态

在图 1.7 所示电路中,开路状态是指当 K 打开时电源与负载断开的状态。此时, $I=0$;电源端电压(称为开路电压或空载电压) $U=U_s$ 。

4. 短路状态

电源被导线短接,如图 1.8 所示。此时, $U=0$;短路电流 $I = \frac{U_s}{R_o}$ 。为防止电源被短路,通常在电路中接入熔断器或短路自动跳闸装置。

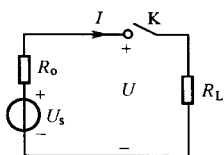


图 1.7 有载工作状态

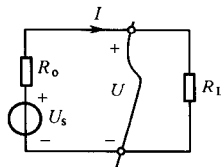


图 1.8 短路状态

1.2.6 基尔霍夫定律

1. 支路

支路是指电路中没有分支的一段电路。

2. 节点

节点是指三条或三条以上支路的连接点。

3. 回路

回路是指由支路所组成的闭合电路。

4. 网孔

网孔是指电路中的每个网格。

5. 基尔霍夫电流定律

(1) 表达式

$$\sum i = 0$$

表明任意瞬时,任意节点上电流代数和恒等于零;也可写为

$$\sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$$

表明任意瞬时,流入任意节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

(2) 推广:任意瞬时,通过任一闭合面的电流代数和恒等于零。

注意,在 $\sum i = 0$ 中有两套正负号, i 前正负号(取决于电流参考方向)和 i 本身数值的正负号。

6. 基尔霍夫电压定律

(1) 表达式

$$\sum u = 0$$

表明任意瞬时,沿任一回路上所有支路电压的代数和恒等于零;也可写为

$$\sum Ri = \sum u_s$$

表明任意瞬时,沿任一回路,电阻上电压代数和等于电源上电压代数和。

(2) 推广:任意瞬时,沿任一假想回路上各段电压代数和恒等于零。

注意,在 $\sum u = 0$ 中有两套正负号, u 前正负号(取决于电压参考方向与回路绕行方向的关系)和 u 本身数值的正负号。

1.2.7 二端网络与等效变换

1. 二端网络

二端网络是指对外有两个引出端的网络。若网络不含独立源时称为无源二端网络；若网络含有独立源时称为有源二端网络。

2. 等效变换

两个二端网络端口处伏安关系完全相同时称这两个二端网络对外电路等效，且可相互替代，这种替代称为等效变换。

3. 电阻的串联

电阻连接时通过同一电流称为电阻的串联。 n 个电阻串联组成图 1.9(a) 所示二端网络 N_1 时，其端口等效电阻 $R = \sum_{k=1}^n R_k$ ，这时可用图 1.9(b) 所示的另一个二端网络 N_2 来等效，其电阻为 R 。电阻串联电路可起分压作用，分压公式为 $u_k = \frac{R_k}{R} u$ 。

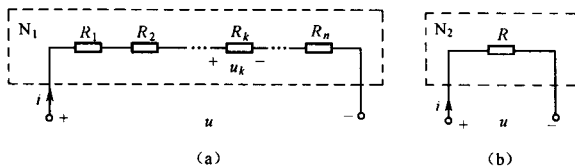


图 1.9 电阻的串联

4. 电阻的并联

电阻连接时承受同一电压称为电阻的并联。并联时电阻常用电导表示。 n 个电导并联组成图 1.10(a) 所示二端网络 N_1 时，其端口等效电导 $G = \sum_{k=1}^n G_k$ ，这时可用图 1.10(b) 所示的另一个二端网络 N_2 来等效，其电导为 G 。电阻并联电路可起分流作用，分流公式为 $i_k = \frac{G_k}{G} i$ 。

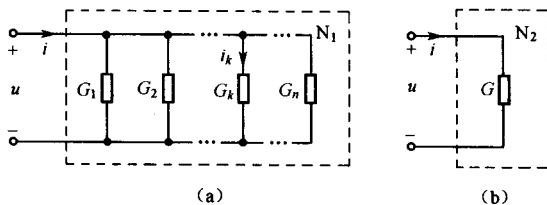


图 1.10 电阻(电导)的并联

5. 实际电压源与实际电流源的等效变换

当如图 1.11(a)所示的实际电压源与如图 1.11(b)所示的实际电流源端口上伏安关系完全相同时, N_1 和 N_2 可相互替代, 即等效变换。实际电压源变换为实际电流源时,

$$I_s = \frac{U_s}{R_o}, \quad R'_o = R_o.$$

实际电流源变换为实际电压源时,

$$U_s = R'_o I_s, \quad R_o = R'_o.$$

需要注意: ①电压源电压 U_s 与电流源电流 I_s 的参考方向必须如图 1.11 所示那样保持一致。②等效是对外电路等效, 而对内电路不等效, 例如当外电路断开时, 实际电压源内部无损耗, 而实际电流源内部有损耗。③电压源与电流源不能等效变换, 因为在这两个电源端口上分别连接相同的外电路后两者的伏安关系不可能始终相同。④实际电压源与实际电流源的等效变换可理解为有源支路的等效变换, 即同电压源串联的电阻或同电流源并联的电阻都可视为它们的内阻参与等效变换。⑤在等效变换中, 对外电路而言, 同电压源并联的元件可进行开路处理, 同电流源串联的元件可进行短路处理。

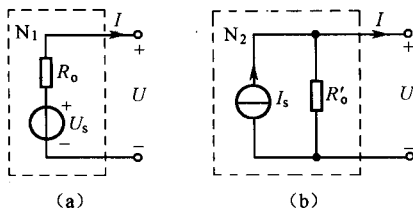


图 1.11 实际电压源与实际电流源的等效变换

1.2.8 电位的计算

1. 电位

电位是指电路中某点电位等于该点与参考点(其电位为零)之间的电压。

2. 电位的计算

求某点电位通常通过求该点与参考点之间的电压来获得。

3. 用电位表示的电路图

若电路中各电压源的一端连接在地上, 则简化电路图的画法是不画出电压源, 仅在电压源的不接地的这一端标出电位的大小及正负。

1.2.9 非独立源——受控源

1. 受控源

电压源的电压或电流源的电流受电路中其他部分电流或电压的控制,即受控源。

2. 分类

受控源是四端元件,含有控制和被控制两条支路。根据控制量和被控制量不同可分为四类:电压控制电压源(VCVS)、电流控制电压源(CCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电流源(CCCS)。当控制系数 μ 、 r 、 g 、 β 为常数时,被控制量与控制量成正比,这种受控源称为线性受控源。

1.3 例题分析

【例 1.3.1】 试判断图 1.12(a)~(d)所示各元件上电流和电压的实际方向,计算各元件功率并说明该元件是吸收功率还是发出功率。

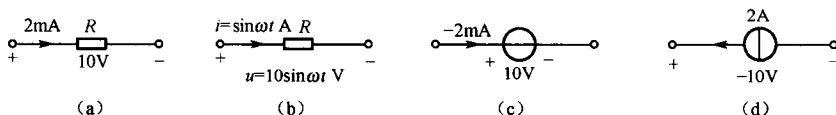


图 1.12 例 1.3.1 的电路

解:根据电流(或电压)值的正负号结合其参考方向可以判断这个电流(或电压)的实际方向。电流(或电压)为正值时,其实际方向同参考方向相同;为负值时,其实际方向同参考方向相反。

求元件功率的公式为 $p = \pm ui$, u 与 i 为关联参考方向时, ui 前取“+”,否则取“-”。 $p > 0$ 表示元件吸收功率, $p < 0$ 表示元件发出功率。

(1) 对图 1.12(a)所示电路,电流、电压为正值,可判断电流、电压的实际方向同其参考方向相同,即电流、电压的实际方向都是从左指向右。

由于 u 与 i 为关联参考方向,故

$$p = ui = (10 \times 2 \times 10^{-3}) \text{ W} = 20 \text{ mW}$$

式中, $p > 0$,该元件吸收功率。

(2) 对图 1.12(b)所示电路,设 $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$,当 $2k\pi < \omega t < (2k+1)\pi$ 时,电流、电压为正值,其实际方向同参考方向相同,即都是从左指向右;当 $(2k+1)\pi < \omega t < 2(k+1)\pi$ 时,电流、电压为负值,其实际方向同参考方向相反,即都是从右指向左。

由于 u 与 i 为关联参考方向,故

$$p = ui = (10 \sin \omega t \cdot \sin \omega t) \text{ W} = 10 \sin^2 \omega t \text{ W}$$

式中, p 为非负值,当 $p > 0$ 时该元件吸收功率。