

普通高等教育“十二五”规划教材

电子电气基础课（应用型系列）

电路原理

学习指导与习题详解

王 玫 主 编

宋卫菊 徐国峰 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电路原理

学习指导与习题详解

主 编 王 玫
副主编 宋卫菊 徐国峰
编 写 陆欣云 陈兴荣
主 审 孟正大



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为王玫主编的《普通高等教育“十二五”规划教材 电路原理》的配套教材。全书共有十三章，每一章均由学习要求、学习要点、典型例题和习题详解四部分组成。本书对《电路原理》的内容进行了归纳总结，提供了有针对性的学习指导，并对《电路原理》中所有习题做了详尽的解答。本书知识概括简明扼要，解题思路清晰、步骤完整、方法多样，注重理论知识在解题中的灵活应用。

本书可作为高等院校本科电气工程及其自动化、自动化、通信工程、计算机等专业相关课程的辅助教材，也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路原理学习指导与习题详解/王玫主编. —北京：中国电力出版社，2012.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2970-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电路理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 079022 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 318 千字

定价 23.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

电路原理课程是电气信息类专业的一门重要的专业基础课,具有理论性强、物理概念多、数学要求高、解题方法灵活的特点。为了使学生更好地理解和掌握该课程的基本内容、基本分析方法和解题方法,提高分析问题和解决问题的能力,我们编写了《普通高等教育“十二五”规划教材 电路原理学习指导与习题详解》,作为王玫主编的《普通高等教育“十二五”规划教材 电路原理》一书的配套教材。

本书各章均由学习要求、学习要点、典型例题和习题详解四部分组成。第一部分以教育部新颁布的本科电路分析基础和电路理论基础两门课程的教学基本要求为指导,结合应用型本科的特点,将学习内容分为“掌握内容”、“熟悉内容”和“了解内容”三个层次,分别提出了不同的学习要求;第二部分从学习辅导的角度出发,对《电路原理》一书的各章内容进行了归纳总结,对课程中的重点和难点进行了简明的阐述;第三部分通过典型例题的详解,使读者进一步掌握和巩固电路理论的基本概念、基本内容以及解题方法和技巧;第四部分对《电路原理》一书中的所有习题做了详尽的解答,以便读者在独立完成解题的基础上对照检查,以提高学习效果。书中知识概括简明扼要,解题思路清晰、步骤完整,分析透彻,方法多样;注重理论知识在解题中的灵活应用,可对辅助电路原理课程教学和学生深入掌握课程知识起到积极作用。

本书由南京工程学院长期担任本课程教学的几位教师承担编写,其中第一、二、三、四、六章由王玫编写;第五、十一章由徐国峰编写;第七、八、十、十三章由宋卫菊编写;第九章由陆欣云编写;第十二章由陈兴荣编写。全书由王玫担任主编,并负责统稿。东南大学孟正大教授担任本书主审,并对本书的初稿提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

此外,本书的编写还参考了众多专家学者的教材,得到许多的启发和收获;本书的出版也得到了中国电力出版社的大力支持和帮助,在此谨表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者指正。

编 者

2012年7月于南京

目 录

前言

第一章 电路元件和电路定理	1
一、学习要求.....	1
二、学习要点.....	1
三、典型例题.....	5
四、习题详解.....	7
第二章 电路的等效变换	20
一、学习要求.....	20
二、学习要点.....	20
三、典型例题.....	22
四、习题详解.....	25
第三章 电阻电路的一般分析方法	37
一、学习要求.....	37
二、学习要点.....	37
三、典型例题.....	39
四、习题详解.....	41
第四章 线性电路的基本定理	53
一、学习要求.....	53
二、学习要点.....	53
三、典型例题.....	55
四、习题详解.....	57
第五章 正弦稳态电路的分析	75
一、学习要求.....	75
二、学习要点.....	75
三、典型例题.....	79
四、习题详解.....	81
第六章 含耦合电感和理想变压器电路的分析	100
一、学习要求.....	100
二、学习要点.....	100
三、典型例题.....	103
四、习题详解.....	105
第七章 三相电路	114
一、学习要求.....	114
二、学习要点.....	114

三、典型例题	116
四、习题详解	117
第八章 动态电路的时域分析	124
一、学习要求	124
二、学习要点	124
三、典型例题	126
四、习题详解	128
第九章 非正弦周期信号激励下稳态电路的分析	152
一、学习要求	152
二、学习要点	152
三、典型例题	153
四、习题详解	154
第十章 动态电路的复频域分析	160
一、学习要求	160
二、学习要点	160
三、典型例题	163
四、习题详解	165
第十一章 二端口网络	176
一、学习要求	176
二、学习要点	176
三、典型例题	178
四、习题详解	180
第十二章 非线性电阻电路简介	189
一、学习要求	189
二、学习要点	189
三、典型例题	190
四、习题详解	190
第十三章 磁路	194
一、学习要求	194
二、学习要点	194
三、典型例题	195
四、习题详解	196
参考文献	203

第一章 电路元件和电路定理

一 学习要求

(1) 掌握电压、电流及其参考方向和关联参考方向的概念；功率的计算及元件吸收和发出功率的判断方法；电路元件包括电阻、电感、电容、理想电压源、理想电流源；电压源模型、电流源模型和受控电源的伏安关系（VAR）；基尔霍夫定律（KCL、KVL）；用两类约束关系（VAR、KCL、KVL）分析和求解简单电路的方法。

(2) 熟悉电路中支路、节点、回路和网孔的概念；电位的概念及其计算方法；电能量的概念及计算方法。

(3) 了解实际电路、电路模型的概念；线性与非线性元件的概念；时变与非时变的概念；电路中的对偶关系。

二 学习要点

1. 实际电路和电路模型

实际电路是由若干个电气装置或电路元器件按一定方式连接而成的电流通路。实际电路器件在工作时的电磁特性是比较复杂的，往往同时具有多种电磁效应。为了便于电路的分析计算，人们将实际的电路器件理想化，用一个足以表征其主要性能的理想化电路元件来代替实际电路器件。由各种理想电路元件组成的电路称为电路模型。

2. 电流及其参考方向

(1) 电流。在电场的作用下，带电粒子的定向移动形成电流，电流的大小用单位时间内通过导体横截面的电荷量来计算，即

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。若电流的大小和方向都不随时间变化，称之为直流电流；若电流的大小和方向都随时间作周期性变化，则称之为交流电流。在一个复杂电路中，要判断电流的真实方向，往往需要引入电流参考方向的概念。

(2) 电流参考方向。电流的参考方向可以任意假设，一旦设定后便不应更改并以此方向参与电路的计算，若计算得电流为正值，则表明电流的真实方向与参考方向一致；若计算得电流为负值，则表明电流的真实方向与参考方向相反。通常用电流的正负值再结合电流的参考方向来表示电流的真实方向。因此，不标出电流的参考方向，电流值的正负是没有意义的。

3. 电压及其参考方向

(1) 电压。电路中两点间的电压是指电场力把单位正电荷从电路中的一点移到另一点所做的功，即

$$u = \frac{dw}{dq}$$

习惯上将电压降的方向规定为电压的正方向。若电压的大小和方向都不随时间变化,称之为直流电压;若电压的大小和方向都随时间作周期性变化,则称之为交流电压。在一个复杂电路中,要判断电压的真实方向也需要引入电压参考方向的概念。

(2) 电压参考方向。电压的参考方向可以任意假设,一旦设定后便不应更改并以此方向参与电路的计算,若计算得电压为正值,则表明电压的真实方向与参考方向一致,若计算得电压为负值,则表明电压的真实方向与参考方向相反。通常用电压的正负值再结合其参考方向来表示电压的真实方向。因此,不标出电压的参考方向,电压值的正负是没有意义的。

(3) 关联参考方向。电路中同一个元件上的电压和电流的参考方向是相互独立的,均可任意假设。如果选择电流的参考方向是从标以电压正极的一端流向标以电压负极的一端,则称为关联参考方向;反之则称为非关联参考方向。

4. 功率和能量

(1) 功率。功率与电压、电流之间的关系为 $p=ui$ 。电路元件在电路中是吸收功率或是发出(或提供)功率可用以下方法加以判断。

方法一:电路在关联参考方向下,吸收功率为 $p=ui$,若 $p>0$ 表明该电路吸收功率,若 $p<0$ 表明该电路发出功率;电路在非关联参考方向下,发出功率为 $p=ui$,若 $p>0$ 表明该电路发出功率,若 $p<0$ 表示该电路吸收功率。

方法二:在关联参考方向下,计算功率采用公式 $p=ui$;在非关联参考方向下,计算功率采用公式 $p=-ui$,若 $p>0$ 表明该电路吸收功率,若 $p<0$ 表明该电路发出功率。

(2) 能量。在关联参考方向下, t_0 到 t 时间内电路所吸收的能量为

$$w(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

5. 电路元件及其特性

(1) 电阻元件 VAR。如图 1-1 所示,在关联参考方向下电阻元件 VAR 可表示为

$$u = Ri \quad \text{或} \quad i = \frac{u}{R} = Gu$$

(2) 电阻元件的功率。线性电阻元件在任一时刻吸收的功率为

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-1)$$

由式(1-1)可见,不论电流、电压为正值或负值,均有 $p \geq 0$,说明电阻元件总是消耗功率的。

(3) 电容元件 VAR。如图 1-2 所示,在关联参考方向下电容元件 VAR 可表示为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-2)$$

或

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi \quad (1-3)$$

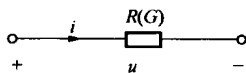


图 1-1 电阻元件

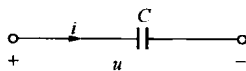


图 1-2 电容元件

(4) 电容元件的储能。电容元件的储能 w_C 为

$$w_C = \frac{1}{2} C u^2(t) \quad (1-4)$$

(5) 电容元件的特性。电容元件的特性归纳如下：

1) 式 (1-2) 表明：①任意时刻流过电容上的电流取决于该时刻电容两端电压的变化率，因此电容具有隔直流、通交流的作用；②如果在任何时刻电容中电流皆为有限值，则电容两端电压不会发生跃变，因此对任一时刻 t 而言，有

$$u_C(t_-) = u_C(t_+)$$

2) 式 (1-3) 表明，某一时刻电容两端电压，与电流过去的全部历史有关，因此电容元件具有记忆电流的功能。

3) 式 (1-4) 表明，电容在任意时刻的储能总为正值。

综上所述，电容元件是一种动态、记忆、储能元件。

(6) 电感元件 VAR。如图 1-3 所示，在关联参考方向下电感元件 VAR 可表示为

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-5)$$

或

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi \quad (1-6)$$

(7) 电感元件的储能。电感元件的储能 w_L 为

$$w_L = \frac{1}{2} L i^2(t) \quad (1-7)$$

(8) 电感元件的特性。电感元件的特性归纳如下：

1) 式 (1-5) 表明：①任意时刻电感两端的电压取决于该时刻流过电感上电流的变化率，因此电感具有通直流、隔交流的作用；②如果在任何时刻电感两端电压皆为有限值，则电感中电流不会发生跃变，因此对任一时刻 t 而言，有

$$i_L(t_-) = i_L(t_+)$$

2) 式 (1-6) 表明，某一时刻电感中的电流，与电压过去的全部历史有关，因此电感元件具有记忆电压的功能。

3) 式 (1-7) 表明，电感在任意时刻的储能总为正值。

综上所述，电感元件是一种动态、记忆、储能元件。

(9) 理想电压源（简称电压源）。电压源的电路符号如图 1-4 所示，它具有以下特性。

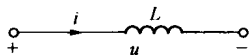


图 1-3 电感元件

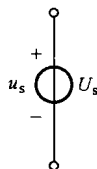


图 1-4 电压源电路符号

1) 电压源能独立向外接电路提供恒定值 U_s 的电压或提供给定时间函数 $u_s(t)$ 的电压，其端口电压与流过它的电流大小、方向无关。

2) 流过电压源的电流由电压源的电压与外电路共同确定。

3) 当 $u_s(t) = 0$ 时, 电压源相当于短路。

4) 在复杂电路中, 电压源可以发出功率, 也可以吸收功率。

(10) 理想电流源 (简称电流源)。电流源的电路符号如图 1-5 所示, 它具有以下特性。

1) 电流源能独立向外接电路提供恒定值 I_s 的电流或给定时间函数 $i_s(t)$ 的电流, 其流出的电流与它两端的电压大小、方向无关。

2) 电流源的端电压由电流源的电流与外电路共同确定。

3) 当 $i_s(t) = 0$ 时, 电流源相当于开路。

4) 在复杂电路中, 电流源可以发出功率, 也可以吸收功率。

(11) 电压源模型。实际电源的电压源模型是: 一个理想电压源 u_s 和一个电阻 R_s 的串联组合, 如图 1-6 所示。其端口间伏安关系可表示为

$$u = u_s - iR_s$$

(12) 电流源模型。实际电源的电流源模型是: 一个理想电流源 i_s 和一个电阻 R_s 的并联组合, 如图 1-7 所示。其端口间伏安关系可表示为

$$i = i_s - \frac{u}{R_s}$$

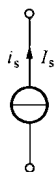


图 1-5 电流源电路符号

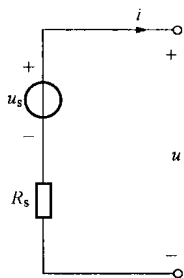


图 1-6 电压源模型

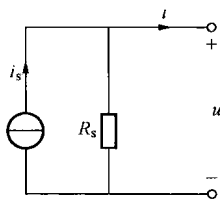


图 1-7 电流源模型

(13) 受控电源。受控电源不能独立向外电路提供电压或电流, 它需要在电路中某支路的电压或电流的控制下, 才能对外提供电压或电流。根据控制量和受控量的不同, 受控源可分为四种形式: ①电压控制电压源 (VCVS), $u_2 = \mu u_1$; ②电流控制电压源 (CCVS), $u_2 = r i_1$; ③电压控制电流源 (VCCS), $i_2 = g u_1$; ④电流控制电流源 (CCCS), $i_2 = \alpha i_1$ 。这四种形式的受控电源电路符号如图 1-8 所示。

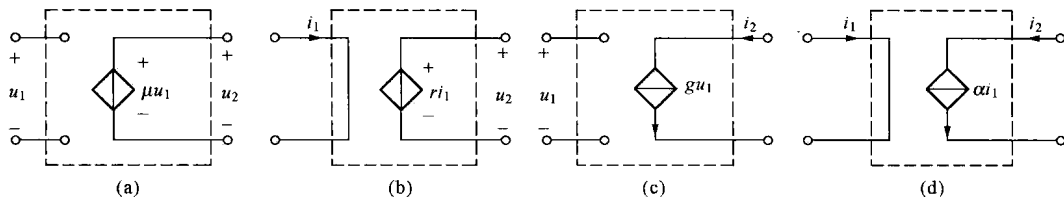


图 1-8 四种形式受控电源的电路符号

(a) VCVS; (b) CCVS; (c) VCCS; (d) CCCS

6. 基尔霍夫定律

(1) 支路、节点、回路和网孔。

支路：一个二端元件或若干个二端元件的串联组合称为一条支路。同一条支路上各元件通过相同的电流。

节点：三条或三条以上支路的交汇点称为节点。

回路：电路中任何一个闭合路径称为回路。

网孔：内部不含有支路的回路称为网孔。

(2) 基尔霍夫电流定律。基尔霍夫电流定律 (KCL) 可表述为：在任一时刻，对集中电路中的任一节点，流入（或流出）该节点的所有支路电流的代数和等于零。其数学表达式为

$$\sum i = 0$$

KCL 可推广到任意一个封闭面。

(3) 基尔霍夫电压定律。基尔霍夫电压定律 (KVL) 可表述为：在任一时刻，沿着集中电路中的任一回路，所有支路电压降的代数和等于零。其数学表达式为

$$\sum u = 0$$

在运用 KVL 列回路方程时，首先应给回路设定一个绕行方向。凡是支路电压的参考电压与绕行方向一致时，电压为正；反之为负。

7. 电位

在电路中任选一节点作为参考点，电路中其他节点到参考点的电压称为各节点的电位。电位的单位也是 V（伏特）。当参考点改变时，各节点的电位也随之而变化，但电路中任意两点间的电位差即电压是不变的。

三 典型例题

【例 1-1】 电路如图 1-9 所示。

(1) 如果 $u=3\text{V}$ ，N 发出的功率为 15W ，求 i 。

(2) 如果 $i=2\text{A}$ ，N 吸收的功率为 8W ，求 u 。

(3) 如果 $u=5\text{V}$ ，N 发出的功率为 -10W ，求 i 。

(4) 如果 $i=4\text{A}$ ，N 吸收的功率为 -12W ，求 u 。

解 (1) 因为 u 、 i 为非关联参考方向，N 发出的功率为

$$p = ui = 3 \times i = 15(\text{W})$$

解得

$$i = 5\text{A}$$

(2) 因为 u 、 i 为非关联参考方向，N 吸收的功率为

$$p = ui = u \times 2 = -8(\text{W})$$

解得

$$u = -4\text{V}$$

(3) 因为 u 、 i 为非关联参考方向，N 发出的功率为

$$p = ui = 5 \times i = -10(\text{W})$$

解得

$$i = -2\text{A}$$

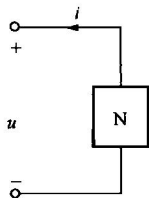


图 1-9 [例 1-1] 图

(4) 因为 u 、 i 为非关联参考方向, N 吸收的功率为

$$p = ui = u \times 4 = -(-12) = 12(\text{W})$$

解得

$$u = 3\text{V}$$

【例 1-2】 电路如图 1-10 所示。(1) 求电流 I_1 、 I_2 和电压 U 。(2) 如 F 为单个元件, 请问该元件有可能为何种元件?

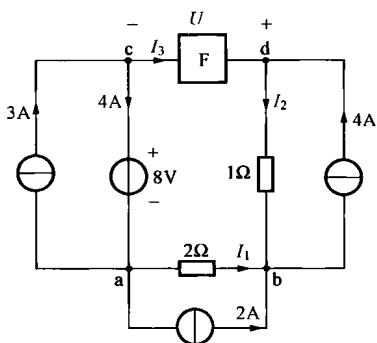


图 1-10 [例 1-2] 图

解 (1) 分别对节点 a、b、c 列 KCL 方程, 求电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

$$\text{节点 a: } I_1 + 2 + 3 - 4 = 0 \Rightarrow I_1 = -1(\text{A})$$

$$\text{节点 b: } I_1 + I_2 + 2 - 4 = 0 \Rightarrow I_2 = 3(\text{A})$$

$$\text{节点 c: } I_3 + 4 - 3 = 0 \Rightarrow I_3 = -1(\text{A})$$

对回路 abcd 列 KVL 方程, 并按逆时针绕行, 可求得

$$2I_1 - I_2 + U + 8 = 0$$

$$U = -2 \times (-1) + 1 \times 3 - 8 = -3(\text{V})$$

(2) 求出元件 F 的功率, 判断其为何种类型的元件。

元件 F 的功率为

$$P_F = UI_3 = (-3) \times (-1) = 3(\text{W})$$

因为元件 F 上的电压 U 和电流 I_3 是非关联参考方向, 且有 $P_F > 0$, 说明 F 是一个发出功率的电源, 可能是一个电压源或是一个电流源。

【例 1-3】 电路如图 1-11 (a) 所示, 试求电路中各元件的功率, 并验证功率平衡。

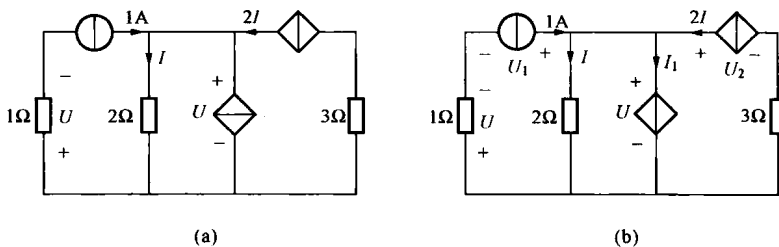


图 1-11 [例 1-3] 图

(a) 原电路; (b) 求解用电路

解 设电流源、受控电流源两端的电压分别为 U_1 和 U_2 , 流过受控电压源的电流为 I_1 , 如图 1-11 (b) 所示。在图 1-11 (b) 中应用欧姆定律、KVL 和 KCL, 可求得

$$U = 1 \times 1 = 1(\text{V})$$

$$U_1 = U + U = 2(\text{V})$$

$$I = \frac{U}{2} = 0.5(\text{A})$$

$$U_2 = U + 3 \times 2I = 1 + 3 \times 2 \times 0.5 = 4(\text{V})$$

$$I_1 = 1 - I + 2I = 1 - 0.5 + 2 \times 0.5 = 1.5(\text{A})$$

三个电阻元件吸收的功率为

$$P_R = \frac{U^2}{1} + 2I^2 + 3 \times (2I)^2 = 1^2 + 2 \times 0.5^2 + 3 \times (2 \times 0.5)^2 = 4.5(\text{W})$$

电流源的功率: $P_{\text{sl}} = 1U_1 = 2(\text{W}) > 0$, 非关联参考方向, 发出功率。

受控电流源的功率: $P_{\text{skI}} = 2IU_2 = 2 \times 0.5 \times 4 = 4(\text{W}) > 0$, 非关联参考方向, 发出功率。

受控电压源的功率: $P_{\text{skU}} = I_1U = 1.5 \times 1 = 1.5(\text{W}) > 0$, 关联参考方向, 吸收功率。

发出的总功率: $P_{\text{发}} = P_{\text{sl}} + P_{\text{skI}} = 2 + 4 = 6(\text{W})$

吸收的总功率: $P_{\text{吸}} = P_R + P_{\text{skU}} = 4.5 + 1.5 = 6(\text{W})$

可见, 电路中发出的总功率和吸收的总功率相等, 达到功率平衡。

四 习题详解

1-1 试说明图 1-12 所示电路中电压、电流参考方向是否关联。计算各方框中电路的功率, 并指出它们是吸收功率还是发出功率。

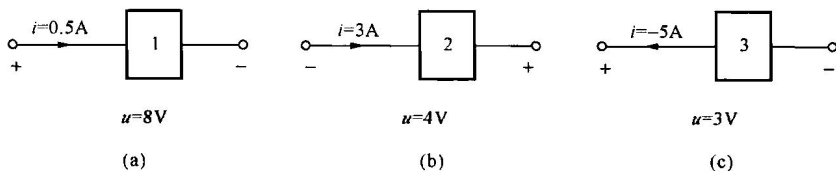


图 1-12 题 1-1 图

解 图 1-12 (a) 中, 电压、电流是关联参考方向, 电路的功率为

$$p = ui = 8 \times 0.5 = 4(\text{W})$$

由于 $p > 0$, 表示该电路吸收功率。

图 1-12 (b) 中, 电压、电流是非关联参考方向, 电路的功率为

$$p = ui = 4 \times 3 = 12(\text{W})$$

由于 $p > 0$, 表示该电路发出功率。

图 1-12 (c) 中, 电压、电流是非关联参考方向, 电路的功率为

$$p = ui = 3 \times (-5) = -15(\text{W})$$

由于 $p < 0$, 表示该电路吸收功率。

1-2 计算图 1-13 (a) 所示电路中各方框两端的电压, 并标出其真实极性。

解 在图 1-13 (a) 所示电路中, 各方框分别标以字母 A、B、C 和 D, 如图 1-13 (b) 所示。

(1) 对方框 A 电路, 电流 I 与电压 U_{ab} 为关联参考方向, 吸收功率时 $P_{\text{A}} = U_{\text{ab}}I > 0$, 则

$$U_{\text{ab}} = \frac{P_{\text{A}}}{I} = \frac{8}{2} = 4(\text{V})$$

说明 a、b 两点间电压的真实极性是 a 点 “+”, b 点 “-”。

(2) 对方框 B 电路, 电流 I 与电压 U_{bc} 为关联参考方向, 发出功率时 $P_{\text{B}} = U_{\text{bc}}I < 0$, 则

$$U_{\text{bc}} = \frac{P_{\text{B}}}{I} = \frac{-6}{2} = -3(\text{V})$$

说明 b、c 两点间电压的真实极性是 b 点 “-”, c 点 “+”。

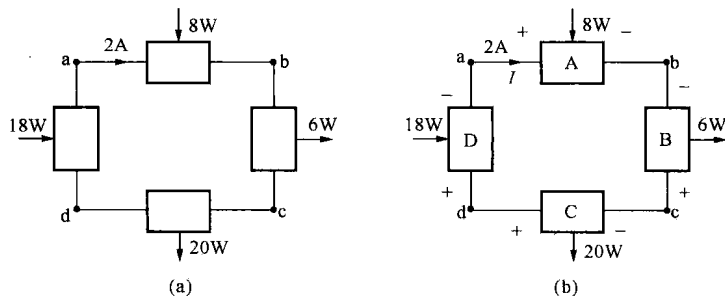


图 1-13 题 1-2 图

(a) 原电路; (b) 电压真实极性的标示图

(3) 对方框 C 电路, 电流 I 与电压 U_{cd} 为关联参考方向, 发出功率时 $P_C = U_{cd}I < 0$, 则

$$U_{cd} = \frac{P_C}{I} = \frac{-20}{2} = -10(\text{V})$$

说明 c、d 两点间电压的真实极性是 c 点 “-”, d 点 “+”。

(4) 对方框 D 电路, 电流 I 与电压 U_{da} 为关联参考方向, 吸收功率时 $P_D = U_{da}I > 0$, 则

$$U_{da} = \frac{P_D}{I} = \frac{18}{2} = 9(\text{V})$$

说明 d、a 两点间电压的真实极性是 d 点 “+”, a 点 “-”。

标出各方框电路两端的电压真实极性, 如图 1-13 (b) 所示。

1-3 额定值分别为 $0.5\text{k}\Omega$ 、 2W 和 $1\text{k}\Omega$ 、 5W 的两个电阻, 若串联, 试问它们两端允许的最高电压为多少? 若并联, 试问允许流过它们总的最大电流为多少?

解 (1) 串联时, 因为 $P = \frac{U^2}{R}$, 所以有

$$U_1 = \sqrt{R_1 P_1} = \sqrt{0.5 \times 10^3 \times 2} = 31.6(\text{V})$$

$$U_2 = \sqrt{R_2 P_2} = \sqrt{1 \times 10^3 \times 5} = 70.7(\text{V})$$

$$U = U_1 + U_2 = 31.6 + 70.7 = 102.3(\text{V})$$

(2) 并联时, 因为 $P = RI^2$, 所以有

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{2}{0.5 \times 10^3}} = 63.2(\text{mA})$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{P_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{5}{1 \times 10^3}} = 70.7(\text{mA})$$

$$I = I_1 + I_2 = 63.2 + 70.7 = 133.9(\text{mA})$$

1-4 图 1-14 (a) 所示电路中, 已知 $C = 500\mu\text{F}$, $u_C(0) = 1\text{V}$ 。试根据图 1-14 (b) 所示 i_C 的波形, 求 u_C , 并画出 u_C 的波形图。

解 此题采用两种解法。一是先写出电容电流的分段表达式, 根据电容上电压和电流的 VAR 写出相应段电压表达式, 再画出电容电压波形。二是根据定积分的几何意义, 求曲线与横轴围成的面积, 分段确定曲线形状及数值, 再绘成曲线。

方法一: 写出 i_C 的表达式, 即

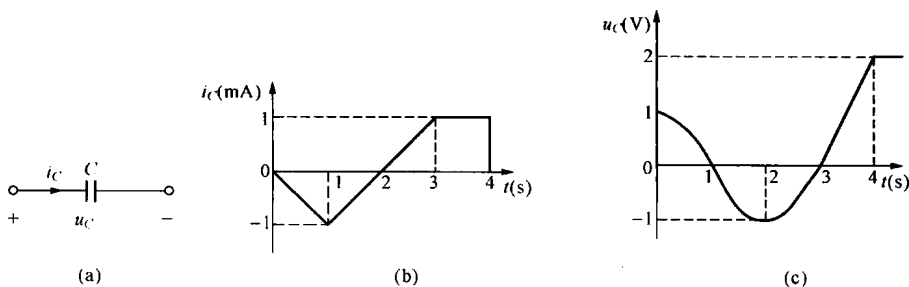


图 1-14 题 1-4 图

(a) 原电路; (b) i_C 波形图; (c) u_C 波形图

$$i_C = \begin{cases} -t(\text{mA}) & (0 < t \leq 1\text{s}) \\ t - 2(\text{mA}) & (1\text{s} \leq t \leq 3\text{s}) \\ 1(\text{mA}) & (3\text{s} \leq t \leq 4\text{s}) \\ 0(\text{mA}) & (t > 4\text{s}) \end{cases}$$

根据电容元件的 VAR

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi + u_C(0)$$

及电容电压的初始值可得

$$0 < t \leq 1\text{s}$$

$$u_C(t) = -\frac{1}{500 \times 10^{-6}} \int_0^t \xi d\xi \times 10^{-3} + u_C(0) = -t^2 + 1(\text{V}), u_C(1) = 0\text{V}$$

$$1\text{s} \leq t \leq 3\text{s}$$

$$u_C(t) = \frac{1}{500 \times 10^{-6}} \int_1^t (\xi - 2) \times 10^{-3} d\xi + u_C(1) = t^2 - 4t + 3(\text{V}), u_C(3) = 0\text{V}$$

$$3\text{s} \leq t \leq 4\text{s}$$

$$u_C(t) = \frac{1}{500 \times 10^{-6}} \int_3^t 10^{-3} d\xi + u_C(3) = 2t - 6(\text{V}), u_C(4) = 2\text{V}$$

$$t > 4\text{s}$$

$$u_C(t) = 2\text{V}$$

写出 u_C 的表达式

$$u_C = \begin{cases} -t^2 + 1(\text{V}) & (0 < t \leq 1\text{s}) \\ t^2 - 4t + 3(\text{V}) & (1\text{s} \leq t \leq 3\text{s}) \\ 2t - 6(\text{V}) & (3\text{s} \leq t \leq 4\text{s}) \\ 2(\text{V}) & (t > 4\text{s}) \end{cases}$$

根据 u_C 表达式, 画出其波形, 如图 1-14 (c) 所示。方法二: 设 S 表示曲线与横轴所围成的面积, 根据电容元件的 VAR

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi$$

及 i_C 的波形可得:

(1) $0 < t \leq 1\text{s}$ 。因 i_C 是线性下降 (负斜率), 故 u_C 应为开口向下的抛物线 (即拱抛线), 且有

$$u_C(1) = u_C(0) + \frac{1}{C} \times S = 1 + \frac{1}{500 \times 10^{-6}} \times \frac{1}{2} \times 1 \times (-1) \times 10^{-3} = 0(\text{V})$$

(2) $1\text{s} \leq t \leq 3\text{s}$ 。因 i_C 是线性上升 (正斜率), 故 u_C 应为开口向上的抛物线 (即凹抛线), 且有

$$u_C(3) = u_C(1) + \frac{1}{C} \times S = 0 + \frac{1}{500 \times 10^{-6}} \times \left[\frac{1}{2} \times 1 \times (-1) \times 10^{-3} + \frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} \right] = 0(\text{V})$$

(3) $3\text{s} \leq t \leq 4\text{s}$ 。因 i_C 是正常数, 故 u_C 应为斜率为正的直线 (即线性上升), 且有

$$u_C(4) = u_C(3) + \frac{1}{C} \times S = 0 + \frac{1}{500 \times 10^{-6}} \times 1 \times 1 \times 10^{-3} = 2(\text{V})$$

(4) $t > 4\text{s}$ 。因 $i_C = 0\text{A}$, 围成面积为零, 故 u_C 应维持不变, 即 $u_C(t) = u_C(4) = 2\text{V}$, 画出 u_C 波形, 如图 1-14 (c) 所示。

1-5 图 1-15 (a) 所示电路中, 已知 $R=1\Omega$, $L=1\text{H}$, $C=1\text{F}$, $u_C(0) = 1\text{V}$ 。试根据图 1-15 (b) 所示 i 的波形, 求 u_R 、 u_L 和 u_C , 并画出它们的波形图。

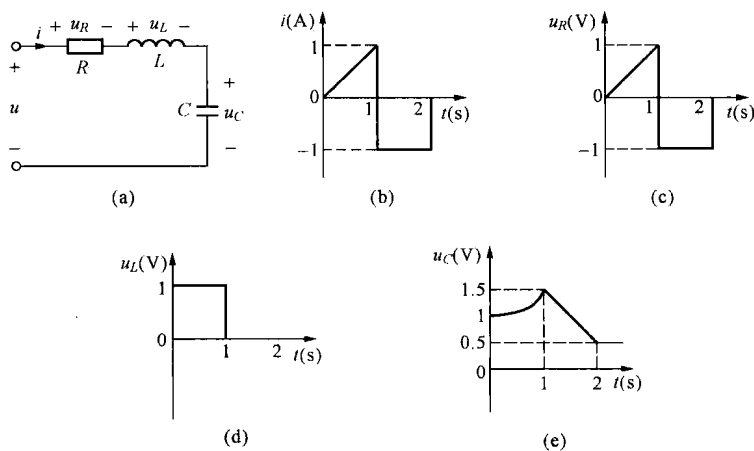


图 1-15 题 1-5 图

(a) 原电路; (b) i 的波形图; (c) u_R 的波形图; (d) u_L 的波形图; (e) u_C 的波形图

解 由图 1-15 (b) 写出 i 的表达式为

$$i = \begin{cases} t(\text{A}) & (0 < t < 1\text{s}) \\ -1(\text{A}) & (1\text{s} < t < 2\text{s}) \\ 0(\text{A}) & (t > 2\text{s}) \end{cases}$$

根据电阻元件的 VAR 可得

$$u_R = iR = \begin{cases} t(\text{V}) & (0 < t < 1\text{s}) \\ -1(\text{V}) & (1\text{s} < t < 2\text{s}) \\ 0(\text{V}) & (t > 2\text{s}) \end{cases}$$

由 u_R 的表达式可画出其波形, 如图 1-15 (c) 所示。

根据电感元件的 VAR 可得

$$u_L = L \frac{di}{dt} = \begin{cases} 1(\text{V}) & (0 < t < 1\text{s}) \\ 0(\text{V}) & (1\text{s} < t < 2\text{s}) \\ 0(\text{V}) & (t > 2\text{s}) \end{cases}$$

由 u_L 的表达式可画出其波形, 波形如图 1-15 (d) 所示。

根据电容元件的 VAR

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi$$

及电容电压的初始值可得

$$u_C = \begin{cases} \frac{1}{2}t^2 + 1(\text{V}) & (0 < t \leq 1\text{s}) \\ -t + 2.5(\text{V}) & (1\text{s} \leq t \leq 2\text{s}) \\ 0.5(\text{V}) & (t \geq 2\text{s}) \end{cases}$$

由 u_C 的表达式可画出其波形, 如图 1-15 (e) 所示。

1-6 求图 1-16 所示电路中各独立源的功率, 并指出它们是发出功率还是吸收功率。

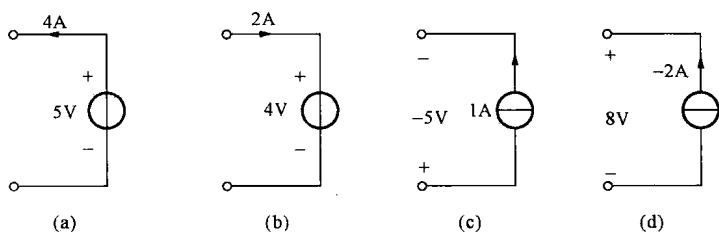


图 1-16 题 1-6 图

解 图 1-16 (a) 中, 电压源功率为

$$P = UI = 5 \times 4 = 20(\text{W})$$

因为电压源的电压和电流为非关联方向, 并且 $P > 0$, 表明该电压源发出 20W 的功率。

图 1-16 (b) 中, 电压源功率可表示为

$$P = UI = 4 \times 2 = 8(\text{W})$$

因为电压源的电压和电流为关联方向, 并且 $P > 0$, 表明该电压源吸收 8W 的功率。

图 1-16 (c) 中, 电流源功率可表示为

$$P = UI = -5 \times 1 = -5(\text{W})$$

因为电流源的电压和电流为关联方向, 并且 $P < 0$, 表明该电流源发出 5W 的功率。

图 1-16 (d) 中, 电流源功率可表示为

$$P = UI = 8 \times (-2) = -16(\text{W})$$

因为电流源的电压和电流为非关联方向, 并且 $P < 0$, 表明该电流源吸收 16W 的功率。

1-7 测得一个实际电源的开路电压为 20V, 短路电流为 2A, 分别作出其电压源模型和电流源模型。

解 因为开路电压 $U_{oc} = 20\text{V}$, 短路电流 $I_{sc} = \frac{U_{oc}}{R_s} = \frac{20}{R_s} = 2(\text{A})$, 所以 $R_s = 10\Omega$, 作出