

21 SHIJI KECHENG JIAOCAI XILIE FUDAO CONGSHU

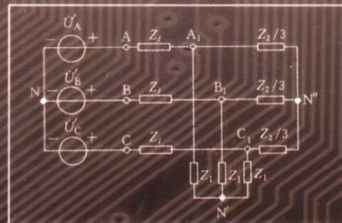
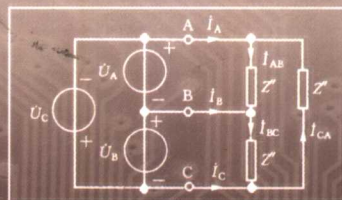
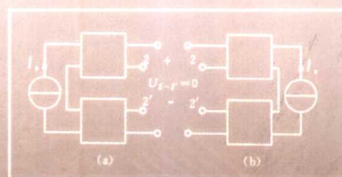
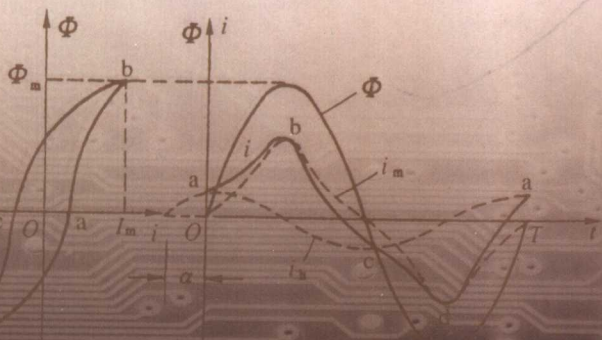
21世纪课程教材系列辅导丛书

电路 学习方法及解题指导

ianlu

杨尔滨 陆文雄 编著
杨欢红 刘蓉晖

XueXi FangFa Ji JieTi ZhiDao



同济大学出版社

内 容 提 要

本书是与邱关源教授主编的《电路》第四版教材配套的学习指导书,是为电气工程专业本科学生和准备报考研究生的学生学习和复习电路方面的内容所编写,目的是使其掌握电路基本理论和分析解题的方法。全书共分十九章,内容包括:电路模型和电路定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析、电路定理、含有运算放大器的电阻电路、一阶电路、二阶电路、相量法、正弦稳态电路的分析、含有耦合电感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路和信号的频谱、拉普拉斯变换、网络函数、电路方程的矩阵形式、二端口网络、非线性电路简介、均匀传输线、磁路和铁芯线圈。每章都有适量的例题,并有供学生练习的习题及参考答案。

本书适合普通高等学校电类(强电、弱电)专业的师生作为辅导教材使用,也可供有关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路学习方法及解题指导/杨尔滨,陆文雄等编著. —上海:
同济大学出版社,2005.1
ISBN 7-5608-2845-0

I. 电… II. ①杨… ②陆… III. 电路—高等学校—教学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060378 号

电路学习方法及解题指导

杨尔滨 陆文雄 杨欢红 刘蓉晖 编著

责任编辑 兰孝仁 责任校对 徐 栩 封面设计 李志云

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 苏州望电印刷有限公司印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 22.5

字 数 450 000

印 数 1—5 100

版 次 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2845-0/TM·33

定 价 32.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

“电路”课程是电路理论的入门课,是电类专业的重要技术基础课,又是学习后续技术基础课和专业课程的基础,而且是电类专业研究生入学考试的必考课程。学习“电路”课程的目的是要掌握电路的基本理论和分析计算电路的基本方法。

由于“电路”课程的理论性和逻辑性较强,需要有一定的物理学和数学基础,根据电路基本理论,运用数学方法对电路进行分析和计算,因此有一定的难度。学习的关键是要牢固掌握基本要求和基本概念,以及电路分析计算的方法和技巧。

随着高等教育的大众化和各校招生规模的扩大,学生的基础程度参差不齐,对今后的就业或继续深造的选择各不相同,因此对学习的需求也各不相同。表现在电路理论的学习上有的学生只需要掌握电路的基本知识及一般的分析方法,而有的学生则要求深入地掌握电路基本理论和熟练掌握电路分析方法,因此课堂上以讲授基本概念和基本方法为主,有些较为深入的内容不宜在课堂上讲授。本书正是根据这种情况而编写的学习指导书,以供不同需求的学生辅导“电路”学习之用。内容既考虑适合学习基本内容的学生的要求,又可满足深入学习并有志深造的学生的学习需要。

目前,全国各高校广泛使用邱关源教授主编的教材《电路》,本书是与该教材配套的学习指导书,是我们根据长期的电路教学实践所积累的资料,并参阅了大量相关资料编写而成。本书对电路课程的基本要求和基本内容作了总结性的归纳,阐述了各章节的主要内容和要点,便于读者进行复习和总结;通过典型例题的详解,可使读者进一步牢固掌握电路理论的基本内容和基本概念,以及解题的方法和技巧,这些典型例题中有课堂上讲解的例题,也有习题课上练习和讲评的习题,还有研究生入学考试使用过的考题。本书每章后均留有一定数量难易程度不一的练习题,并附有答案,可供学生在学习过程中或复习时进行练习和自我检测,其中较难的题目前面并用“*”表示。本书附录中收集了若干份近年某些重点高校研究生入学试卷,供读者参考。

参加本书编写的有杨尔滨、陆文雄、杨欢红和刘蓉晖老师。全书共分十九章,其中杨欢红编写第一至第七章,陆文雄编写第八至第十一章,杨尔滨编写第十三至第十八章,刘蓉晖编写第十二章和第十九章。全书由杨尔滨、陆文雄主编,并负责统稿。

由于编者水平有限,难免有不足或错误之处,望广大读者批评指正。

编者

2004 年 11 月

目 录

前言

第一章 电路模型和电路定律	(1)
一、基本要求	(1)
二、内容提要	(1)
三、典型例题	(4)
四、习题与参考答案	(9)
第二章 电阻电路的等效变换	(14)
一、基本要求	(14)
二、内容提要	(14)
三、典型例题	(16)
四、习题与参考答案	(21)
第三章 电阻电路的一般分析方法	(24)
一、基本要求	(24)
二、内容提要	(24)
三、典型例题	(27)
四、习题与参考答案	(34)
第四章 电路定理	(38)
一、基本要求	(38)
二、内容提要	(38)
三、典型例题	(41)
四、习题与参考答案	(49)
第五章 含运算放大器的电阻电路	(54)
一、基本要求	(54)
二、内容提要	(54)
三、典型例题	(56)

四、习题与参考答案	(60)
第六章 一阶电路	(63)
一、基本要求	(63)
二、内容提要	(63)
三、典型例题	(66)
四、习题与参考答案	(74)
第七章 二阶电路	(79)
一、基本要求	(79)
二、内容提要	(79)
三、典型例题	(81)
四、习题与参考答案	(86)
第八章 相量法	(89)
一、基本要求	(89)
二、内容提要	(89)
三、典型例题	(96)
四、习题与参考答案	(98)
第九章 正弦稳态电路的分析	(100)
一、基本要求	(100)
二、内容提要	(100)
三、典型例题	(117)
四、习题与参考答案	(124)
第十章 含有耦合电感的电路	(129)
一、基本要求	(129)
二、内容提要	(129)
三、典型例题	(136)
四、习题与参考答案	(140)
第十一章 三相电路	(144)
一、基本要求	(144)

二、内容提要	(144)
三、典型例题	(154)
四、习题与参考答案	(161)
第十二章 非正弦周期电流电路	(164)
一、基本要求	(164)
二、内容提要	(164)
三、典型例题	(172)
四、习题与参考答案	(179)
第十三章 拉普拉斯变换	(183)
一、基本要求	(183)
二、内容提要	(183)
三、典型例题	(188)
四、习题与参考答案	(204)
第十四章 网络函数	(209)
一、基本要求	(209)
二、内容提要	(209)
三、典型例题	(212)
四、习题与参考答案	(228)
第十五章 电路方程的矩阵形式	(232)
一、基本要求	(232)
二、内容提要	(232)
三、典型例题	(242)
四、习题与参考答案	(262)
第十六章 二端口网络	(268)
一、基本要求	(268)
二、内容提要	(268)
三、典型例题	(274)
四、习题与参考答案	(287)

第十七章 非线性电路分析初步	(291)
一、基本要求	(291)
二、内容提要	(291)
三、典型例题	(297)
四、习题与参考答案	(306)
第十八章 均匀传输线	(309)
一、基本要求	(309)
二、内容提要	(309)
三、典型例题	(321)
四、习题与参考答案	(330)
第十九章 磁路与铁芯线圈	(332)
一、基本要求	(332)
二、内容提要	(332)
三、典型例题	(345)
四、习题与参考答案	(350)
参考文献	(352)

第一章 电路模型和电路定律

一、基本要求

- (1) 了解电路模型的概念和电路的基本变量。
- (2) 理解电压、电流的参考方向与实际方向的关系、电压与电流的关联参考方向的概念。
- (3) 掌握功率的计算、功率的吸收与发出。
- (4) 掌握电阻、电容、电感、独立电源和受控源的定义及伏安关系(VCR)。
- (5) 掌握基尔霍夫定律:KCL 和 KVL。

二、内容提要

1. 电路与电路模型

电路的基本变量有电流、电压、电荷、磁通、功率和能量,最主要的是电流、电压和功率;电路模型是由电阻、电容、电感、独立电源和受控源等理想电路元件联接而成,实际电路元件可由一种或几种理想电路元件组合来近似表示。

2. 电压、电流的参考方向

表 1-1 电压、电流的参考方向的比较

说 明	电 流	电 压
实际方向	正电荷流动的方向	由高电位(正极)指向低电位(负极)
参考方向	任意选定	任意选定
标记符号	① 箭头;② 双下标	① 箭头;② 双下标;③ 正、负极性
实际与参考方向的关系	$i > 0$, 实际方向与参考方向相同; $i < 0$, 实际方向与参考方向相反	$u > 0$, 实际方向与参考方向相同; $u < 0$, 实际方向与参考方向相反

在电路分析时,必须先确定参考方向,根据参考方向列写方程,再解方程求得结果(正或负),方可确定实际方向;当电压和电流的参考方向一致时,称为关联参考方向。

3. 功率

判断元件或一段电路是吸收功率还是发出功率,取决于 u 、 i 的参考方向及 $p = ui$

的正负。

表 1-2

判断吸收功率与发出功率

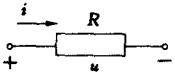
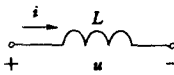
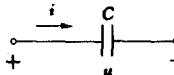
u, i 的参考方向	元件的功率 $p=ui$	实际吸收功率与发出功率
关联参考方向	$p>0$	吸 收
	$p<0$	发 出
非关联参考方向	$p>0$	发 出
	$p<0$	吸 收

4. R, L, C 元件

线性元件 R, L, C 的共同特点是: (1) 二端元件; (2) 无源元件。

表 1-3

线性 R, L, C 的比较

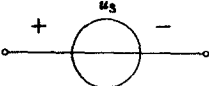
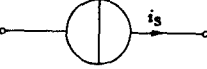
说 明	电 阻	电 感	电 容
电路符号			
约束方程 (当 u, i 关联方向)	$u=Ri$	$\Psi=Li, u=L \frac{di}{dt}$	$q=Cu, i=C \frac{du}{dt}$
元件分类	耗能元件	储能元件	储能元件
储存能量	0	磁场能量 $W=\frac{1}{2}Li^2$	电场能量 $W=\frac{1}{2}Cu^2$

5. 电压源 u_s 、电流源 i_s

电压源、电流源是有源元件, 为了与受控源区别又称为独立电源。

表 1-4

电压源、电流源特性

说 明	电 压 源	电 流 源
电路符号		
特 点	① 电压源的端电压不随外电路变化; ② 电压源中的电流随外电路变化; ③ 当 u_s 为常数时, 称其为直流电压源	① 电流源中的电流不随外电路变化; ② 电流源的端电压随外电路变化; ③ 当 i_s 为常数时, 称其为直流电流源

6. 受控源

受控源是一种电路模型,实际存在的一种器件,如晶体管、运算放大器、变压器等,它们的电特性可用含受控源的电路模型来模拟。受控源的符号及特性与独立源有相似之处,即受控电压源具有电压源的特性,受控电流源具有电流源的特性;但又有根本区别,受控源的电流或电压由控制支路的电流或电压控制,一旦控制量为零,受控量也为零,而且受控源自身不能起激励作用,即当电路中无独立电源时就不可能有响应。

表 1-5 受控源的分类与比较

说 明	电压控制电压源 (VCVS)	电压控制电流源 (VCCS)	电流控制电压源 (CCVS)	电流控制电流源 (CCCS)
符 号				
控制量	u_1	u_1	i_1	i_1
被控量	$u_2 = \mu u_1$	$i_2 = g u_1$	$u_2 = r i_1$	$i_2 = \beta i_1$

7. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是集总参数假设下的电路基本定律,它们只与电路的拓扑结构有关而与电路特性无关,即不管是电阻、电容、电感还是电源;不管是线性电路还是非线性电路都适用。

表 1-6 基尔霍夫定律

说 明	基尔霍夫电流定律(KCL)	基尔霍夫电压定律(KVL)
定律内容	在集总电路中,任何时刻,对任何结点(或闭合面),所有支路电流的代数和恒等于零	在集总电路中,任何时刻,沿任一回路,所有支路电压的代数和恒等于零
定律公式	$\sum i = 0$	$\sum u = 0$
定律说明	根据电流的参考方向,当流出结点的电流取正时,则流入结点的电流取负	当支路电压的参考方向与回路绕向一致者,该电压取正号,反之取负号

三、典型例题

例 1-1 求图 1-1 所示各有源支路的功率(已知: $U_s=6\text{V}$, $R=3\Omega$, $I_s=1\text{A}$, $I=2\text{A}$)。

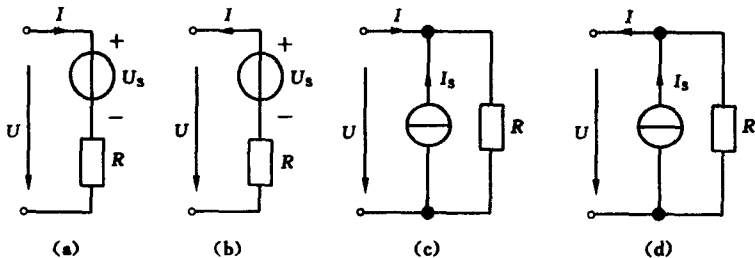


图 1-1

解:根据电压、电流参考方向,先求出电压 U ,然后求功率。

$$(a) U = U_s + RI = 6 + 3 \times 2 = 12\text{V}$$

$$P = UI = 12 \times 2 = 24\text{W}$$

即吸收功率为 24W。

$$(b) U = U_s - RI = 6 - 3 \times 2 = 0$$

$$P = UI = 0$$

即既不发出功率,也不吸收功率。

$$(c) U = R(I_s + I) = 3 \times (1 + 2) = 9\text{V}$$

$$P = UI = 9 \times 2 = 18\text{W}$$

即吸收功率为 18W。

$$(d) U = R(I_s - I) = 3 \times (1 - 2) = -3\text{V}$$

$$P = UI = -3 \times 2 = -6\text{W}$$

即发出功率为 -6W,实际上吸收功率为 6W。

例 1-2 求图 1-2 所示电路中各元件的功率,并说明是发出功率还是吸收功率。

解:(a) 由于流经电阻、电压源的电流为 $I=2\text{A}$

$$\text{电流源两端的电压} \quad U = 10 - 1 \times 2 = 8\text{V}$$

$$\text{电阻吸收的功率} \quad P_1 = RI^2 = 1 \times 2^2 = 4\text{W}$$

$$\text{电压源的功率} \quad P_2 = 10I = 10 \times 2 = 20\text{W}$$

电压源上电压和电流参考方向是非关联的,故电压源发出功率为 20W。

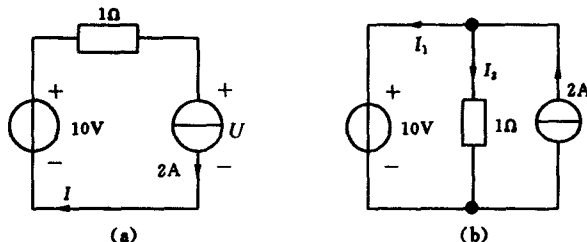


图 1-2

电流源的功率

$$P_3 = UI = 8 \times 2 = 16 \text{ W}$$

电流源上电压和电流参考方向是关联的,故电流源吸收功率为 16W。

显然发出总功率为 20W,吸收总功率为 20W,即整个电路满足功率平衡。

(b) 由欧姆定律及 KCL 得电压源上的电流

$$I_1 = 2 - I_2 = 2 - \frac{10}{1} = -8 \text{ A}$$

电阻吸收的功率

$$P_1 = \frac{U^2}{R} = \frac{10^2}{1} = 100 \text{ W}$$

电压源的功率

$$P_2 = 10I_1 = 10 \times (-8) = -80 \text{ W}$$

电压源上电压和电流参考方向是关联的,故电压源发出功率为 80W。

电流源的功率

$$P_3 = 10 \times 2 = 20 \text{ W}$$

电流源上电压和电流参考方向是非关联的,故电流源发出功率为 20W。

显然发出总功率为 100W,吸收总功率为 100W,即整个电路满足功率平衡。

例 1-3 图 1-3(a)所示电路,电感上的电流波形如图 1-3(b)所示,求电压 $u(t)$,电感吸收的功率 $p(t)$,电感上的储能 $w(t)$,并绘出它们的波形。

解:电流 $i(t)$ 的函数表达式为

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ t & 0 \leq t \leq 1 \text{ s} \\ -t + 2 & 1 \text{ s} \leq t \leq 2 \text{ s} \\ 0 & t \geq 2 \text{ s} \end{cases}$$

电压 $u(t)$ 的函数表达式为

$$u(t) = L \frac{di}{dt} = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 2 & 0 \leq t \leq 1 \text{ s} \\ -2 & 1 \text{ s} \leq t \leq 2 \text{ s} \\ 0 & t \geq 2 \text{ s} \end{cases}$$

功率 $p(t)$ 的函数表达式为

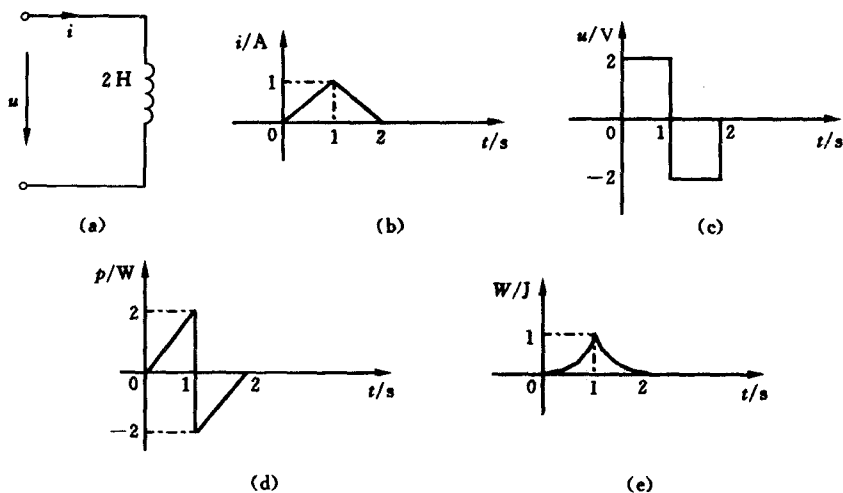


图 1-3

$$p(t) = ui = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 2t & 0 \leq t \leq 1\text{s} \\ 2(t-2) & 1\text{s} \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t \geq 2\text{s} \end{cases}$$

能量 $w(t)$ 的函数表达式为

$$w(t) = \frac{1}{2} Li^2 = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ t^2 & 0 \leq t \leq 1\text{s} \\ (t-2)^2 & 1\text{s} \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t \geq 2\text{s} \end{cases}$$

$u(t)$ 、 $p(t)$ 、 $w(t)$ 的波形分别见图 1-3(c)、(d)、(e)。

例 1-4 图 1-4(a) 所示电路, 电容上的电流波形如图 1-4(b) 所示, $u(0)=0$, 求电压 $u(t)$, 并画出波形。

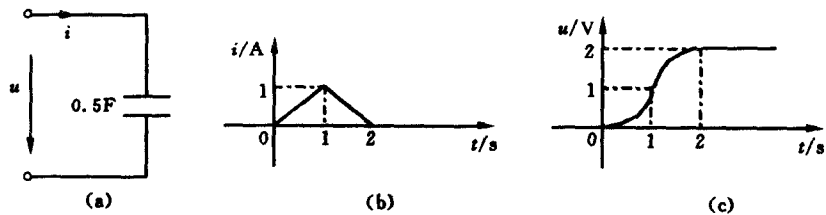


图 1-4

解: 电流 $i(t)$ 的函数表达式为

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ t & 0 \leq t \leq 1\text{s} \\ -t + 2 & 1\text{s} \leq t \leq 2\text{s} \\ 0 & t \geq 2\text{s} \end{cases}$$

已知电容的电流 $i(t)$ 求电压 $u(t)$ 时, 有

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

当 $0 \leq t \leq 1\text{s}$ 时

$$u(t) = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = 0 + \frac{1}{0.5} \int_0^t \xi d\xi = \xi^2 \Big|_0^t = t^2 (\text{V})$$

$$u(1) = 1\text{V}$$

当 $1\text{s} \leq t \leq 2\text{s}$ 时

$$\begin{aligned} u(t) &= u(1) + \frac{1}{C} \int_1^t i(\xi) d\xi = 1 + \frac{1}{0.5} \int_1^t (-\xi + 2) d\xi = 1 + (-\xi^2 + 4\xi) \Big|_1^t \\ &= -t^2 + 4t - 2 (\text{V}) \end{aligned}$$

$$u(2) = 2\text{V}$$

当 $t \geq 2\text{s}$ 时

$$u(t) = u(2) + \frac{1}{C} \int_2^t i(\xi) d\xi = u(2) = 2\text{V}$$

$u(t)$ 的波形图如图 1-4(c) 所示。

例 1-5 求图 1-5 所示电路中电压 U_1 、 U_2 和电流

I 。

解: 根据 KVL

$$U_1 = 1 \times 1 + 10 = 11\text{V}$$

$$U_2 = -1 \times 2 + 10 = 8\text{V}$$

根据 KCL, 结点 a 的方程为

$$-1 + \frac{10}{2} + I + 2 = 0$$

得

$$I = 1 - \frac{10}{2} - 2 = -6\text{A}$$

例 1-6 求图 1-6 所示电路中独立电源的功率。

解: 先求控制量 U_1 , 再求电流源两端的电压 U 及电压源上的电流 I 。

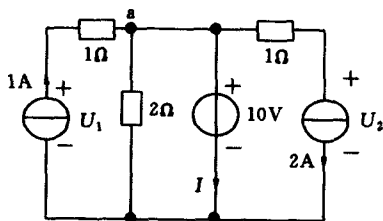


图 1-5

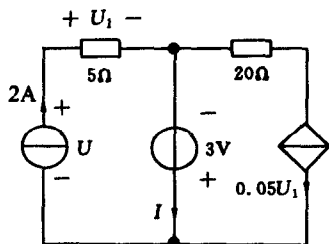


图 1-6

$$U_1 = 2 \times 5 = 10\text{V}$$

$$U = U_1 - 3 = 10 - 3 = 7\text{V}$$

$$I = 2 - 0.05U_1 = 1.5\text{A}$$

故 2A 电流源的功率为

$$P_1 = U \times 2 = 7 \times 2 = 14\text{W} \quad (\text{发出})$$

3V 电压源的功率为

$$P_2 = 3 \times I = 3 \times 1.5 = 4.5\text{W} \quad (\text{发出})$$

例 1-7 求图 1-7 所示电路中电压 U 和电流 I 。

解: 根据 KCL

$$10 = \frac{U}{3} + \frac{U}{1} + 2I$$

$$\text{又} \quad U = 3I$$

$$\text{解得} \quad I = \frac{5}{3}\text{A} \quad U = 5\text{V}$$

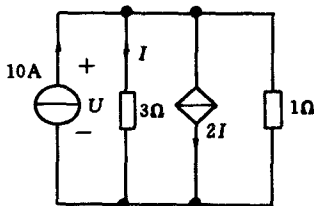


图 1-7

例 1-8 求图 1-8 所示电路中电流源和受控电压源的功率。

解: 设电流源的端电压 U 和受控电压源中的电流 I 的参考方向如图 1-8 所示。

根据 KVL

$$3I_1 = 1 \times I + 0.5I_1$$

根据 KCL

$$I_1 + I = 7$$

由上面两式解得

$$I_1 = 2\text{A} \quad I = 5\text{A} \quad U = 3I_1 = 6\text{V}$$

电流源的功率为

$$P_1 = U \times 7 = 6 \times 7 = 42\text{W} \quad (\text{发出})$$

受控电压源的功率为

$$P_2 = 0.5I_1 \times I = 0.5 \times 2 \times 5 = 5\text{W} \quad (\text{吸收})$$

例 1-9 求图 1-9 所示电路中电压 U_1 、 U_2 。

解: 此题电路虽较复杂, 但不难根据 KCL、KVL 和受控源的特性求得所需结果。

设各电阻支路电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的参考方向如图 1-9 所示。

由 KCL

$$I_1 = 6 - 10 \quad (1-1)$$

$$I_2 = 6 + 2U_1 \quad (1-2)$$

$$I_3 = -10 - 2U_1 \quad (1-3)$$

由 KVL

$$U_1 = 2I_1 + 1I_2 \quad (1-4)$$

由式(1-1)、式(1-2)、式(1-3)、式(1-4)解得

$$I_1 = -4\text{A}, \quad I_2 = 10\text{A}, \quad I_3 = -14\text{A}, \quad U_1 = 2\text{V}$$

则

$$U_2 = 1I_2 - 1I_3 = 1 \times 10 + 1 \times 14 = 24\text{V}$$

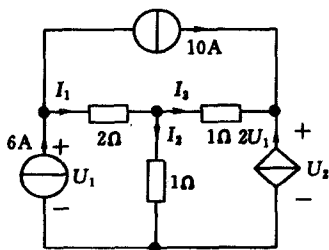


图 1-9

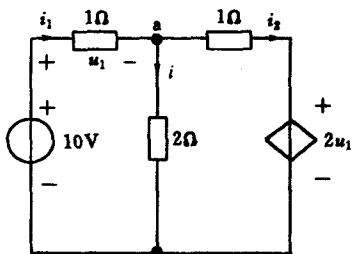


图 1-10

例 1-10 求图 1-10 所示电路中各支路电流。

解: 设各支路电流参考方向如图 1-10 所示。

由 KCL, 对结点 a 有

$$-i_1 + i + i_2 = 0 \quad (1-5)$$

而

$$i_1 = \frac{u_1}{1} \quad (1-6)$$

$$i_2 = \frac{-3u_1 + 10}{1} \quad (1-7)$$

$$i = \frac{-u_1 + 10}{2} \quad (1-8)$$

把式(1-6)、式(1-7)、式(1-8)代入式(1-5)得 $u_1 = \frac{10}{3}\text{V}$

然后解得

$$i_1 = \frac{10}{3}\text{A}, \quad i_2 = 0, \quad i = \frac{10}{3}\text{A}$$

四、习题与参考答案

1-1 求图 1-11 所示电路中 u 、 R 、 i 。

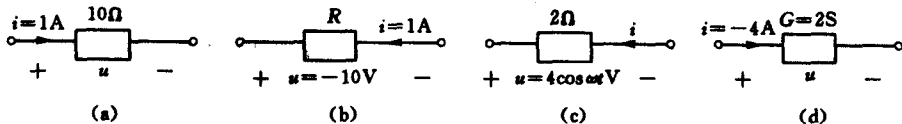


图 1-11

1-2 求图 1-12 所示各含源支路的未知量。

1-3 已知电感上的电压波形如图 1-13(b) 所示, 且 $i(0) = 0$, 试求当 $t = 1\text{s}$, $t = 3\text{s}$ 时的电流 $i(t)$ 。

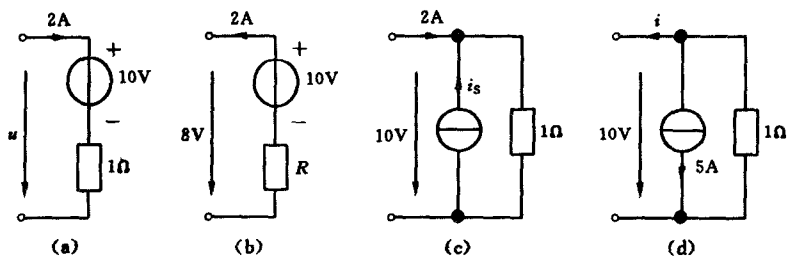


图 1-12

1-4 已知电容上的电压波形如图 1-14(b) 所示, 求电容电流 $i(t)$, 电容上的电荷 $q(t)$ 及电容吸收的功率 $p(t)$, 并绘出它们的波形。

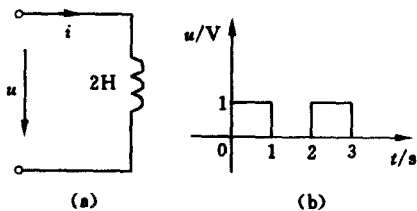


图 1-13

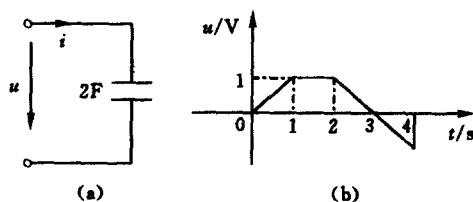


图 1-14

1-5 求图 1-15 所示电路中各元件的功率, 并说明是发出功率还是吸收功率。

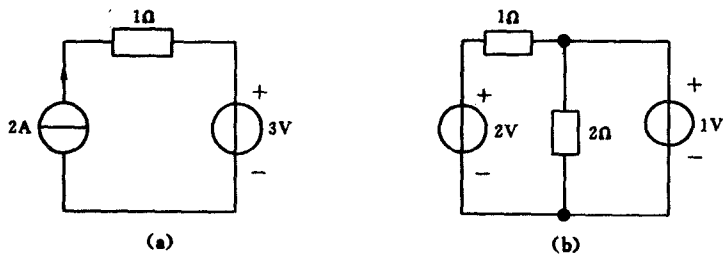


图 1-15

1-6 求图 1-16 所示电路中的电压 U_1 和 U_2 。

1-7 图 1-17 所示电路中, $U_{S1}=U_{S2}=U_{S3}=1V$, $I_{S1}=I_{S2}=I_{S3}=1A$, 求各元件的功率, 验证功率平衡。