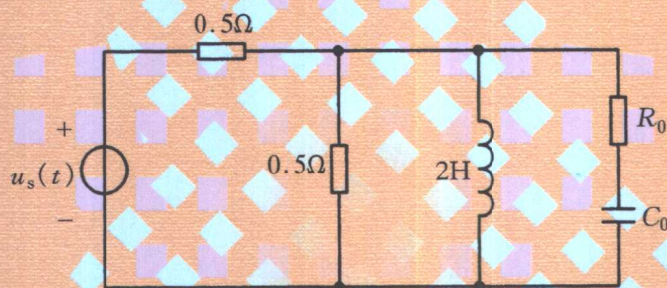


21世纪大学课程辅导丛书

# 工程硕士 电路考试指南

刘崇新



西安交通大学出版社



21 世纪大学课程辅导丛书

# 工程硕士电路考试指南

刘崇新

西安交通大学出版社

## 内容简介

本书主要内容包括电路基本定律、电阻电路分析、电路基本定理、一阶动态电路分析、二阶动态电路分析、正弦稳态电路分析、具有互感的电路、三相电路、非正弦周期电流电路、拉普拉斯变换、二端口网络、网络图论和状态方程、非线性电路。每一章均配有典型例题和习题,书末有3个附录,其中第1个附录和第2个附录是2000年和2001年西安交通大学工程硕士电路入学考试试题;第3个附录是本书的习题参考答案。

本书主要面向攻读工程硕士和工学硕士的在职人员、在读本科生及参加自学考试的学生复习电路之用,也适用于工程技术人员自学电路之用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程硕士电路入学考试指南/刘崇新编. —西安:西安交通大学出版社,2002.10  
ISBN 7-5605-1554-1

I. 工… II. 刘… III. 电路理论-研究生-入学考试-自学参考资料 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056736 号

\*

西安交通大学出版社出版发行  
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)  
陕西向阳印务有限公司印装  
各地新华书店经销

\*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:12.5 字数:298 千字  
2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷  
印数:0001~3 000 定价:20.00 元

---

发行科电话:(029)2668357,2667874

## 前 言

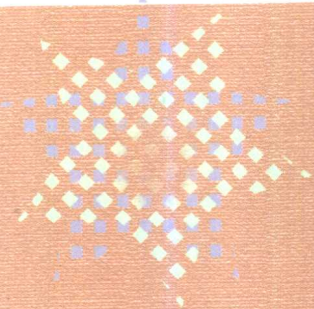
本书的内容符合教育部制定的“高等工科院校电路、电路分析课程的基本要求”,电路、电路分析是电气自动化类专业、电子仪器与测控专业、电子信息类专业的技术基础课,学好了电路,就为后续专业课程和以后从事工程专业工作奠定了坚实的电路理论基础。本书内容共分为12章和3个附录,本书对电路的基本定律、定理以及计算方法都简明扼要地作了叙述。对电路内容的每一个部分的重点,难点都精炼而清楚地作了论述和归纳。每章中的每一个部分内容都包括有几个典型例题,这些典型例题有利于读者理清思路和对于电路问题的深入思考。使读者能够正确的领会、理解电路的基本概念、定律、定理及解题方法。

本书是专门为在职人员攻读电气自动化类专业的工程硕士研究生复习电路之用,可作为在职人员攻读电气自动化类专业的工学硕士研究生复习电路之用。本书也是为电气自动化类专业、电子信息类专业的本科生编写的电路辅导书,同时也适用于电气自动化类专业、电子信息类专业的自学考试的专科生和本科生复习电路之用,并适用于工程技术人员自学电路之用。

编者

2002年9月

# 工程硕士 电路考试指南



# 目 录

<b>第 1 章 电路基本定律</b> .....	(1)
1.1 电路元件的电压, 电流关系.....	(1)
1.2 基尔霍夫定律.....	(6)
1.3 功能守恒.....	(6)
习题.....	(12)
<b>第 2 章 电阻电路分析</b> .....	(15)
2.1 电阻的 Y 形连接与 $\Delta$ 形连接的等效互换.....	(15)
2.2 等效电阻.....	(16)
2.3 支路电流法.....	(19)
2.4 回路电流法.....	(20)
2.5 结点电压法.....	(24)
2.6 含有理想运算放大器的电路分析.....	(28)
习题.....	(32)
<b>第 3 章 电路基本定理</b> .....	(36)
3.1 叠加定理.....	(36)
3.2 替代定理.....	(39)
3.3 戴维宁定理和诺顿定理.....	(40)
3.4 特勒根定理.....	(47)
3.5 互易定理.....	(48)
习题.....	(51)
<b>第 4 章 动态电路分析</b> .....	(54)
4.1 一阶动态电路分析.....	(54)
4.2 二阶动态电路分析.....	(69)
习题.....	(71)
<b>第 5 章 正弦稳态电路分析</b> .....	(75)
5.1 应用相量法分析正弦电流电路.....	(75)
5.2 正弦稳态电路的功率.....	(79)
5.3 最大功率传输.....	(81)
5.4 正弦电流电路的串联谐振.....	(82)
5.5 正弦电流电路的并联谐振.....	(85)
习题.....	(86)
<b>第 6 章 具有互感的电路</b> .....	(89)
6.1 互感.....	(89)
6.2 互感的去耦等效.....	(90)
6.3 含互感电路的计算.....	(93)
6.4 空心变压器.....	(95)

6.5	理想变压器	(96)
	习题	(98)
<b>第7章</b>	<b>三相电路</b>	<b>(101)</b>
7.1	电源的(Y)星形联接和( $\Delta$ )三角形联接	(101)
7.2	对称三相电路的计算	(102)
7.3	不对称三相电路的计算	(105)
7.4	三相电路的功率	(106)
	习题	(109)
<b>第8章</b>	<b>非正弦周期电流电路</b>	<b>(113)</b>
8.1	周期函数分解为傅里叶级数	(113)
8.2	非正弦周期量的有效值和平均功率	(114)
8.3	非正弦周期电流电路的计算	(116)
	习题	(119)
<b>第9章</b>	<b>拉普拉斯变换</b>	<b>(122)</b>
9.1	拉普拉斯变换的定义	(122)
9.2	拉普拉斯变换的基本性质	(124)
9.3	拉普拉斯逆变换	(130)
9.4	复频域电路模型	(134)
9.5	应用拉普拉斯变换分析线性电路	(137)
	习题	(143)
<b>第10章</b>	<b>二端口网络</b>	<b>(147)</b>
10.1	线性无源二端口网络的参数和方程	(147)
10.2	二端口网络的等效电路	(151)
10.3	二端口网络的联接	(152)
10.4	回转器	(156)
	习题	(157)
<b>第11章</b>	<b>网络图论和状态方程</b>	<b>(160)</b>
11.1	关联矩阵	(160)
11.2	独立回路矩阵	(161)
11.3	独立割集矩阵	(163)
11.4	列表法	(164)
11.5	状态方程	(166)
	习题	(170)
<b>第12章</b>	<b>非线性电路</b>	<b>(172)</b>
12.1	非线性电阻电路	(172)
12.2	含有非线性电阻的电路方程	(172)
12.3	小信号分析法	(174)
12.4	含有非线性动态元件的电路	(175)
	习题	(177)

附录 1 西安交通大学 2000 年在职攻读硕士学位入学考试专业课电路试题 .....	(179)
附录 2 西安交通大学 2001 年在职攻读硕士学位入学考试专业课电路试题 .....	(183)
附录 3. 习题参考答案 .....	(186)
主要参考文献 .....	(191)



# 第 1 章 电路基本定律

电路分析是根据电路的基本定律,按照给定的结构和激励来求解电路变量(支路电流和电压),以确定电路的工作状态。

## 1.1 电路元件的电压,电流关系

1. 电阻元件  $R$ ,其图形符号如图 1.1 所示,(电压与电流取关联参考方向),有

$$u = Ri, \text{ 或 } i = Gu, G = \frac{1}{R} \quad (1.1)$$

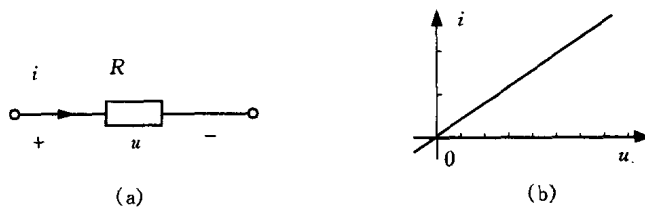


图 1.1 电阻元件及伏安特性

电阻是耗能元件,功率为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2 \geq 0 \quad (1.2)$$

$n$  个电阻串联,如图 1.2 所示。

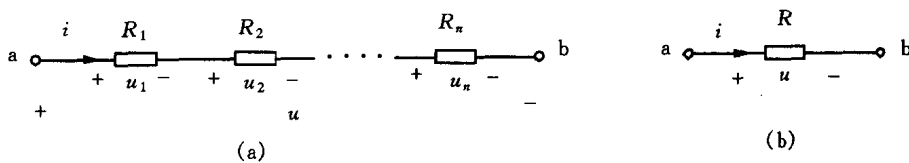


图 1.2 电阻串联电路

等效电阻为

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k, \text{ 其中 } k = 1, 2, 3, \cdots \quad (1.3)$$

电阻串联,其中电流相同,任一电阻电压为

$$u_k = \frac{R_k}{R} u = \frac{R_k}{\sum_{k=1}^n R_k} u \quad (1.4)$$

等效电阻的功率为

$$p = ui = i^2 R = i^2 \sum_{k=1}^n R_k \quad (1.5)$$

$n$  个电阻并联, 如图 1.3 所示。

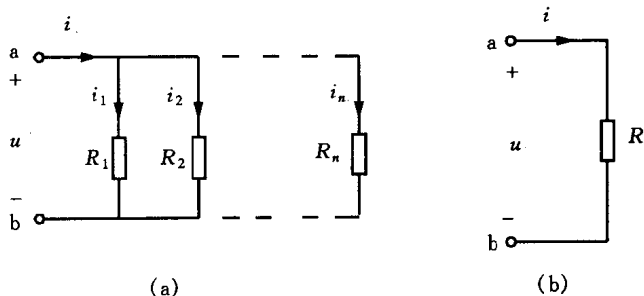


图 1.3 电阻并联电路

等效电导为

$$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n = \sum_{k=1}^n G_k, \text{ 而 } R = \frac{1}{G} \quad (1.6)$$

电阻并联, 两端电压相同, 任一电阻电流为

$$i_k = \frac{R}{R_k} i = \frac{G_k}{G} i = \frac{G_k}{\sum_{k=1}^n G_k} i \quad (1.7)$$

等效电导的功率为

$$p = ui = u^2 G = u^2 \sum_{k=1}^n G_k \quad (1.8)$$

2. 电容元件  $C$ , 其图形符号如图 1.4 所示, (电压与电流取关联参考方向), 有

$$q = Cu, \quad i = C \frac{du}{dt} \quad (1.9)$$

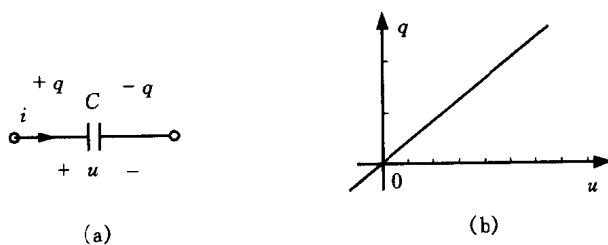


图 1.4 电容元件及库伏特性

或

$$u = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1.10)$$

电容  $C$  是储能元件, 功率为  
储存的电场能量为

$$p = ui$$

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \geq 0 \quad (1.11)$$

$n$  个电容串联,如图 1.5 所示。

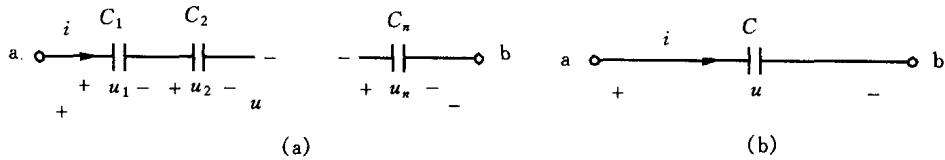


图 1.5 电容串联电路

等效总电容的倒数为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad \text{其中 } k = 1, 2, 3, \dots \quad (1.12)$$

$n$  个电容串联,其中电流相同,每个电容的电荷量相等,而任一电容电压为  $u_k(t) =$

$$\frac{1}{C_k} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi, \text{ 而 } u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi, \text{ 因此 } u_k = \frac{C}{C_k} u$$

$n$  个电容并联如图 1.6 所示。

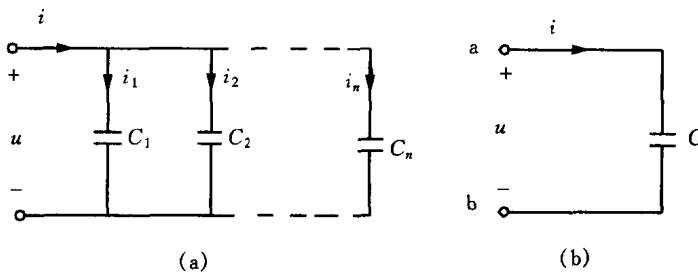


图 1.6 电容并联电路

等效总电容为

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{k=1}^n C_k \quad (1.13)$$

$n$  个电容并联,两端电压相同,任一电容、电流为

$$i_k = C_k \frac{du}{dt}, \text{ 而 } i = C \frac{du}{dt}, \text{ 因此, } i_k = \frac{C_k}{C} i$$

3. 电感元件  $L$ ,其图形符号如图 1.7 所示,(电压与电流取关联参考方向),有

$$\Psi = Li, \quad u = L \frac{di}{dt} \quad (1.14)$$

或

$$i = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1.15)$$

电感  $L$  是储能元件,功率为  
储存的磁场能量为

$$p = ui$$

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \geq 0 \quad (1.16)$$

$n$  个电感串联,如图 1.8 所示。

等效总电感为

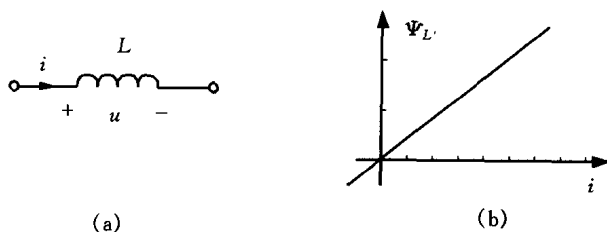


图 1.7 电感元件及韦安特性

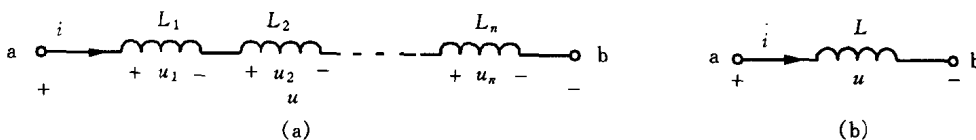


图 1.8 电感串联电路

$$L = L_1 + L_2 + \cdots + L_n = \sum_{k=1}^n L_k \quad \text{其中 } k = 1, 2, 3, \dots \quad (1.17)$$

$n$  个电感串联, 其中电流相同, 任一电感电压为

$$u_k = L_k \frac{di}{dt}, \text{ 而 } u = L \frac{di}{dt}, \text{ 因此 } u_k = \frac{L_k}{L} u$$

$n$  个电感并联如图 1.9 所示。

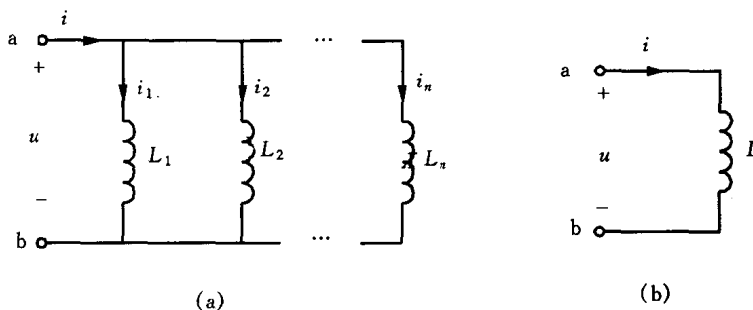


图 1.9 电感并联电路

等效总电感的倒数为

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k} \quad (1.18)$$

电感并联, 两端电压相同, 任一电感电流为

$$i_k = \frac{1}{L_k} \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi, \text{ 而 } i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(\xi) d\xi, \text{ 因此 } i_k = \frac{L}{L_k} i$$

#### 4. 独立电源元件

(1) 理想电压源  $u_s(t)$  的图形符号如图 1.10 所示,  $u_s(t)$  为给定的函数, 向外电路提供恒定变化的电压, 其电流取决于外电路。

(2) 理想电流源  $i_s(t)$  的图形符号如图 1.11 所示,  $i_s(t)$  为给定的函数, 向外电路提供恒

定变化的电流,其电压取决于外电路。

独立电源在电路中直接起着激励的作用。

电路元件的 VCR 关系由电路元件的电磁性质所决定。

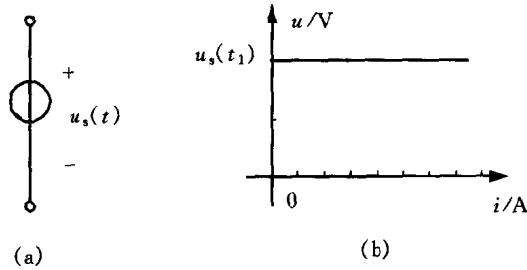


图 1.10 理想电压源

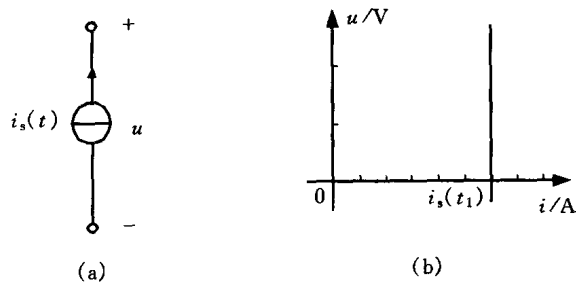


图 1.11 理想电流源

(3) 实际电源的两种模型及其等效变换。理想电压源与电阻的串联组合作为实际电压源的电路模型,如图 1.12(a)所示。理想电流源与电阻的并联组合作为实际电流源的电路模型,如图 1.12(b)所示。

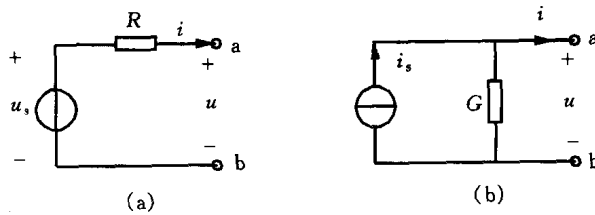


图 1.12 实际电源的两种电路模型

在电路分析与计算中,实际电源的两种电路模型可以等效互换,其对外电性能等效,等效互换的条件为

$$i_S = Gu_s, G = \frac{1}{R} \quad (1.19)$$

### 5. 受控电源

受控电源又称为非独立电源,受控电压源的电压或受控电流源的电流受电路中某部分的电压或电流所控制。受控电源是一种双口元件,共有 4 种形式(在指定的电压、电流参考方向下)分别如图 1.13(a),(b),(c),(d)所示。图中  $u_1, i_1$  分别表示控制电压和控制电流,称为控

制量。 $\mu, r, g, \beta$  分别表示有关的控制系数。这些控制系数为常数时表示线性受控源。对于受控源,当控制量为零时,受控源就为零。

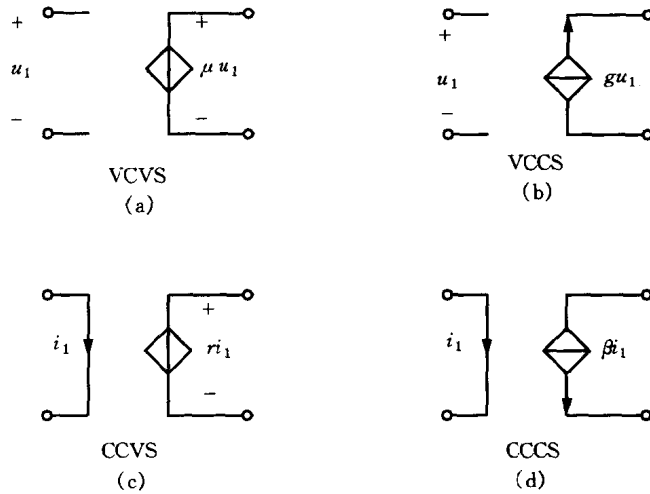


图 1.13 受控电源

## 1.2 基尔霍夫定律

### 1. 基尔霍夫电流定律 KCL

电路中,在任一时刻,对于任一结点(或者闭合面),所有支路电流的代数和恒等于零,即

$$\sum i = 0 \quad (1.20)$$

应用 KCL 时,首先要指定各支路电流的参考方向。通常规定流出结点的电流取正,流入取负。一个具有  $n$  个结点的电路仅能写出  $(n-1)$  个独立的 KCL 方程。

### 2. 基尔霍夫电压定律 KVL

电路中,任一时刻,沿任一回路内所有支路(或者元件)电压的代数和恒等于零,即

$$\sum \bar{u} = 0 \quad (1.21)$$

应用 KVL 时,首先要指定各回路的参考方向(或绕行方向)。通常规定与回路参考方向一致的电压取正,反之取负。对于任一个具有  $n$  个结点  $b$  条支路的电路仅能写出  $l = b - (n-1)$  个独立的 KVL 方程,其中  $n$  为结点数,  $b$  为支路数,  $l$  为独立回路数。

基尔霍夫定律与电路元件的性质无关,它们反映了电路结构所确定的电压与电流的约束关系。

## 1.3 功能守恒

功率是电能量对时间的变化率。对于一个元件(或一条支路),电压与电流取关联参考方向,如图 1.4(a)所示,电功率为

$$p(t) = u(t)i(t), p > 0 \text{ 元件吸收能量}, p < 0 \text{ 元件放出能量}。$$

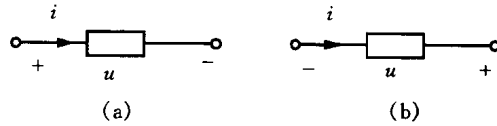


图 1.14 元件的功率

对于一个元件(或一条支路),当电压与电流取非关联参考方向时,如图 1.14(b)所示,电功率为

$$p(t) = -u(t)i(t), p > 0 \text{ 元件吸收能量}, p < 0 \text{ 元件放出能量。}$$

$$\text{当 } p(t) = u(t)i(t), p > 0 \text{ 元件放出能量}, p < 0 \text{ 元件吸收能量。}$$

根据电路的功能守恒原理,对于任一电路,各元件(或支路)在任一时刻吸收能量的功率之代数 sum 等于零,所以有

$$\sum p = \sum ui = 0 \quad (1.22)$$

**例 1.1** 电路如图 1.15(a)所示,  $R = 10 \Omega, C = \frac{2}{7} \text{F}$ , 图(b)为电容、电流的波形图,求电压  $u_C(t)$ 。

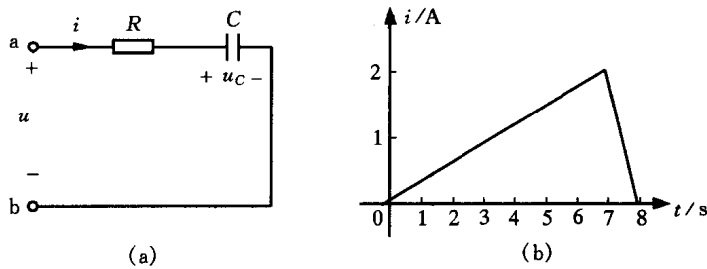


图 1.15 例 1.1 图

解 由于  $i = C \frac{du_C}{dt}$

$$\text{所以 } u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) dt$$

由图(b)可知

$$i_C = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ \frac{2}{7}t & 0 \leq t \leq 7 \\ -2t + 16 & 7 \leq t \leq 8 \\ 0 & 8 \leq t \end{cases}$$

当时  $t \leq 0$  时

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d(\xi) = 0$$

故

$$i(0) = 0$$

当  $0 \leq t \leq 7$  时

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

$$= 0 + \frac{7}{2} \int_0^t \frac{2}{7}(\xi) d(\xi) = 0.5t^2$$

故

当  $7 \leq t \leq 8$  时

$$u_C(7) = 24.5 \text{ V}$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d(\xi) = u_C(7) + \frac{7}{2} \int_7^t i(\xi) d(\xi)$$

$$= 24.5 + \frac{7}{2} \int_7^t (-2\xi + 16) d\xi$$

$$= 24.5 + \frac{7}{2} (-\xi^2 + 16\xi) \Big|_7^t$$

$$= -3.5t^2 + 56t - 196$$

$$u_C(8) = 28 \text{ V}$$

故

当  $8 \leq t$  时

$$u_C(t) = u_C(8) + \frac{1}{C} \int_8^t i(\xi) d(\xi) = 28 \text{ V}$$

例 1.2 电路如图 1.16 所示, 已知  $u = 5 \text{ V}$ ,  $R_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ , 试求  $i_1, i_2, i$ ,

$u_S$ 。

解 由于受控电流源与  $R_3$  串联, 根据欧姆定律, 有

$$i_2 = \frac{u}{R_3} = \frac{5}{5} = 1 \text{ A}, \text{ 而 } i_2 = 0.5i, \text{ 得 } i = 2 \text{ A}$$

应用 KCL, 有

$$-i + i_1 + i_2 = 0$$

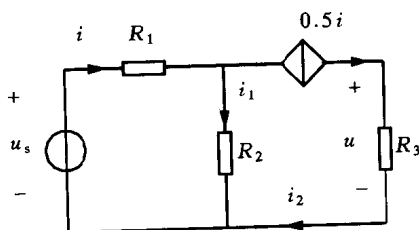


图 1.16 例 1.2 图

代入数据, 有

$$-2 + i_1 + 1 = 0$$

解得

$$i_1 = 1 \text{ A}$$

而应用 KVL, 有

$$u_S = 8i + 10i_1 = 16 + 10 = 26 \text{ V}$$

例 1.3 电路如图 1.17 所示,  $u_S = 40 \text{ V}$ ,  $i_S = 1 \text{ A}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$ , 试求  $R_1, R_2$  消耗的功率和电源发出的功率。

解  $i_1 = \frac{u_S}{R_1} = \frac{40}{20} = 2 \text{ A}, i_2 = i_S = 1 \text{ A},$



应用 KCL, 有

$$i = i_1 - i_2 = 2 - 1 = 1 \text{ A}$$

而应用 KVL, 有  $u_o - 10i_2 = 40$ , 得  $u_o = 50 \text{ V}$

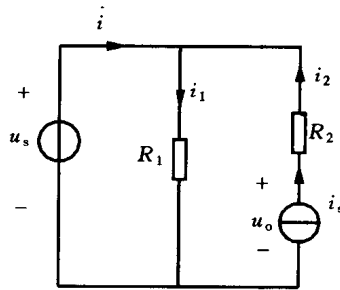


图 1.17 例 1.3 图

电阻消耗的功率

$$p_1 = u_S i_1 = 40 \times 2 = 80 \text{ W}, p_2 = i_2^2 R_2 = 1 \times 10 = 10 \text{ W},$$

电源发出的功率

由于  $u_S$  与  $i$  参考方向相反

$$p_u = u_S i = 40 \times 1 = 40 \text{ W}$$

$u_o$  与  $i_S$  参考方向相反

$$p_{i_s} = u_o i_S = 50 \times 1 = 50 \text{ W}$$

例 1.4 电路如图 1.18 所示, 已知  $u_S(t) = U_m \cos(\omega t)$ ,  $i_S(t) = I_m e^{-\alpha t}$ , 试求  $u_L(t)$ ,  $i_{C2}(t)$ 。

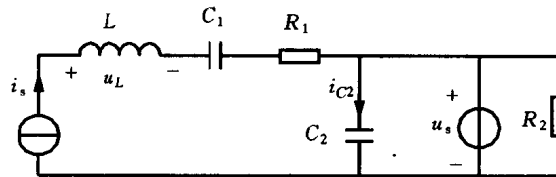


图 1.18 例 1.4 图

解 电流源限定了  $L, C_1, R_1$  中的电流, 电压源限定了  $C_2, R_2$  两端的电压, 因此有

$$u_L(t) = L \frac{di_S}{dt} = -L\alpha I_m e^{-\alpha t}$$

$$\begin{aligned} i_{C2}(t) &= C_2 \frac{du_S}{dt} = -\omega C_2 U_m \sin(\omega t) \\ &= \omega C_2 U_m \cos(\omega t + 90^\circ) \end{aligned}$$

例 1.5 电路如图 1.19 所示, 已知  $i_{s1} = 6 \text{ A}$ ,  $i_{s2} = 4 \text{ A}$ ,  $u_{s2} = 20 \text{ V}$ ,  $u = 24 \text{ V}$ ,  $R_1 = 24 \Omega$ ,  $R_3 = 20 \Omega$ ,  $R_4 = R_5 = 50 \Omega$ , 试求  $i_4$  和  $R_2$ 。

解 将虚线所围部分看成一个广义结点, 应用 KCL, 有

$$-i_{s1} + i_{s2} + i_5 = 0$$

得

$$i_5 = i_{s1} - i_{s2} = 6 - 4 = 2 \text{ A}$$