

电路

(第三版) 教学辅导

刘国柱 主编

高等教育出版社



DIANLUJIAOXUEFUDAO

《电路》(第三版)
教 学 辅 导

刘国柱 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是为了对选用邱关源主编的《电路》(第三版)上、下册(高等教育出版社出版)作为教材的教师和学生进行教学或学习辅导而编写的。书中所指的章节和习题均指该教材而言。全书共20章和两个附录,次序安排也和教材一致。每章主要包含重点和难点、学时安排、例题分析、习题提示、参考书目等。本书侧重对精选的例题进行分析,并对教材中的一些难题给出解题思路和指出关键,以提高解题的能力。本书也可供自学读者参考。

《电路》(第三版)

教 学 辅 导

刘国柱 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张5.875 字数140 000

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

印数 0 001—3,140

ISBN 7-04-002897-2/TM·147

定价 1.45 元

前 言

本书是为了对选用邱关源主编的《电路》(第三版)上、下册(高等教育出版社出版)作为教材的教师和学生进行教学或学习辅导而编写的。本书中所提到的章节和习题是指该教材而言。

本书每一章分为五个部分:第一部分是从不同的角度对教材内容的重点和难点进行简明扼要的叙述,以便进行教学时能较好地掌握教材的基本内容。第二部分给出教材中有关章节的讲授时数,供教师参考。第三部分是典型例题分析,这些例题是配合习题内容精选的。它们将有助于启迪思维和提高解题的能力。当然,这部分内容也可供教师作为例题讲授。第四部分是习题提示,对教材中的一些难题,着重给出解题思路的分析和关键要点的剖析。最后一部分是参考书目的章节。所列的书目主要是与该章内容有关、并具有一定特色的国外教材,对于已经广为人知的国内教材则未列入。

参加本书编写的有刘国柱、刘崇新,由刘国柱负责主编工作。在编写的过程中,得到邱关源教授的指导,并看了初稿,提出了许多宝贵意见。谨致深切谢意。

限于我们的水平,并缺乏编写这类教学辅导书的经验,书中不妥和错误之处可能不少,诚望使用本书的教师和读者指正。

编 者

1989年于西安交通大学

目 录

第一章	电路模型和电路定律	1
第二章	电阻电路的等效变换	8
第三章	电阻电路的一般分析	18
第四章	电路定理	37
第五章	具有运算放大器的电阻电路	50
第六章	非线性电阻电路	59
第七章	一阶电路	67
第八章	二阶电路	80
第九章	一阶和二阶非线性电路	87
第十章	相量法	92
第十一章	正弦电流电路的分析	98
第十二章	具有耦合电感的电路	109
第十三章	三相电路	117
第十四章	非正弦周期电流电路和信号的频谱	123
第十五章	拉普拉斯变换	129
第十六章	网络函数	140
第十七章	电路方程的矩阵形式	147
第十八章	二端口网络	156
第十九章	电路设计	162
第二十章	开关电容网络	167
附录 A	均匀传输线	172
附录 B	磁路和铁心线圈	178

第一章 电路模型和电路定律

一、重点和难点

1. 本章介绍的电压、电流的参考方向，是在分析电路时任意指定的方向，不要和电压、电流的实际方向混淆，而应弄清它们之间的关系，但是所有电路方程均按参考方向来列写。

2. 本章介绍的电阻、电感、电容、独立电源和受控电源等理想电路元件，其中有些读者在物理学中已学习过，但在这里，我们从电路角度给予比较严格的定义和阐述。集总元件、集总电路的概念非常重要，不过要详细阐述需要用电磁场理论的知识，因此不可能在本门课程中交代清楚。理想电路元件的电压和电流参考方向的习惯标示方法，以及在此标示下的理想电路元件的伏安方程和功率计算是电路分析的基础知识，是本章的重点。

3. 基尔霍夫两个定律(KCL、KVL)是电路理论的基础，在建立电路方程方面起着极为重要的作用。定理内容虽然简单，但要灵活准确地掌握，需要一个过程。值得注意的是，在本书中，回路除了用支路构成的闭合路径来表示外，还可以用闭合节点序列来表示。因此应用KVL来列写电路方程时，有用支路电压和节点电压来表示的两种形式。

4. 这一章所介绍的内容同全书均有密切的联系，应给以足够的重视，但有些概念如受控源需要在学过后续章节后，才能深入理解。

二、学时安排

§ 1-1 ~ § 1-6 2 学时

§ 1-7 ~ § 1-9 2 学时

三、例题分析

例 1-1 在 $C=0.4 \mu\text{F}$ 电容的两端, 加上波形如图 1-1b 所示的电压源 $u(t)$ 。试求在电容中流过的电流 $i(t)$ 的波形。

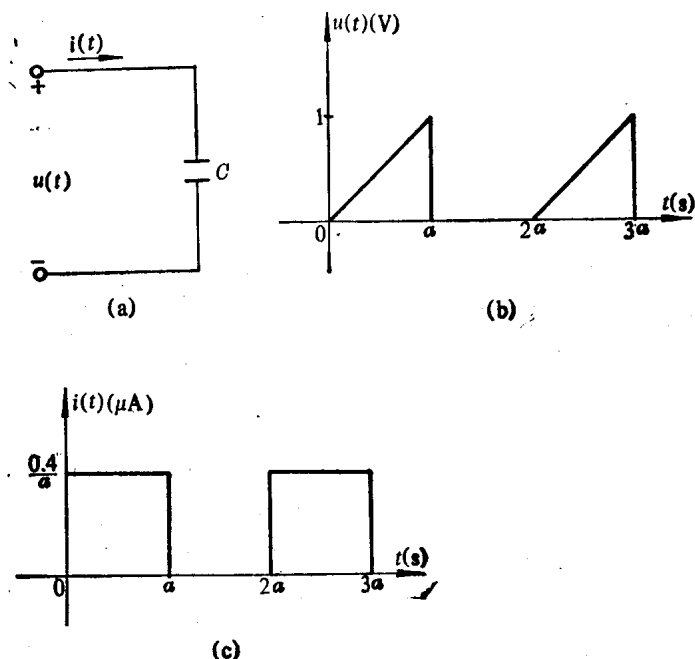


图 1-1

解 由电容元件的伏安关系

$$i = C \frac{du}{dt}$$

当 $0 \leq t \leq a$ 时, $u(t) = \frac{1}{a}t$ 因此

$$i = 0.4 \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{a} t \right) = 0.4 \frac{1}{a} \mu A$$

当 $a \leq t \leq 2a$ 时, $u(t) = 0$ 所以

$$i(t) = 0$$

当 $2a \leq t \leq 3a$ 时, $u(t) = \frac{1}{a}(t - 2a)$ 得

$$i(t) = 0.4 \frac{1}{a} \mu A$$

从而有 $i(t)$ 的波形如图 1-1 c 所示。

例 1-2 在 $L = 1 \text{ H}$ 电感的两端, 加上波形如图 1-2 b 所示的电压源 $u(t)$ 。试求在电感中流过的电流 $i(t)$ 的波形。设 $t = 0$ 时 $i(0) = 0$ 。

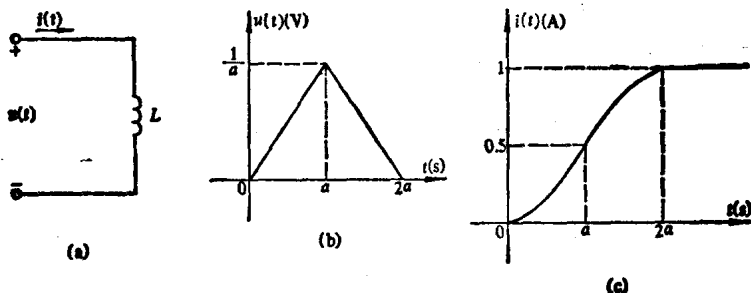


图 1-2

解 因

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

当 $0 \leq t \leq a$ 时, $i(0) = 0, u(t) = \frac{t}{a^2}$ 所以

$$i(t) = \int_0^t \frac{\xi}{a^2} d\xi = \frac{t^2}{2a^2} A$$

当 $a \leq t \leq 2a$ 时, $u(t) = \frac{2}{a} - \frac{t}{a^2}$ 由于 $i(t)$ 是连续的, 所以

$$\begin{aligned}
 i(t) &= i(a) + \frac{1}{L} \int_a^t u(\xi) d\xi = \frac{1}{2} + \int_a^t \left(\frac{2}{a} - \frac{\xi}{a^2} \right) d\xi \\
 &= \frac{1}{2} + \left[\frac{2}{a} \xi - \frac{\xi^2}{2a^2} \right]_a^t \\
 &= -1 + \frac{2}{a} t - \frac{t^2}{2a^2} \text{ A}
 \end{aligned}$$

又当 $t \geq 2a$ 时, $i(t) = 1\text{A}$, 因此 $i(t)$ 的波形如图 1-2c。

例 1-3 电路如图 1-3 所示, 求电路中的 i 、 u 、 R 和 u_s 。已知 $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $i_1 = 3\text{A}$, $u_2 = 4\text{V}$ 。

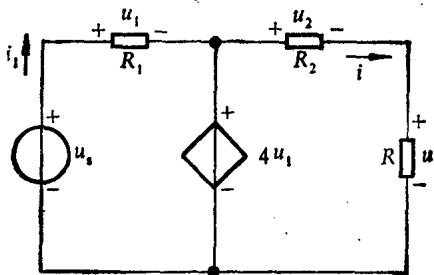


图 1-3

解 根据题意, 电流 i 可直接求出, 而受控源的电压 $4u_1$ 可根据 i_1 求出, u 和 u_s 即可按 KVL 求得。

$$i = \frac{u_2}{R_2} = 2\text{A}$$

根据 KVL 可以写出

$$u_2 + u - 4u_1 = 0$$

而控制量

$$u_1 = R_1 i_1 = 6\text{V}$$

所以

$$u = 4u_1 - u_2 = 20\text{V}$$

和

$$R = \frac{u}{i} = 10\Omega$$

又有

$$u_1 + 4u_1 - u_s = 0$$

于是

$$u_s = 4u_1 + u_1 = 30\text{V}$$

例 1-4 部分电路如图 1-4。已知 $i_1 = 4\text{A}$, $i_2 = 5\cos 30t\text{A}$, $u_c = 10\sin 30t\text{V}$, 求 i_L 和 u_{bd} 。

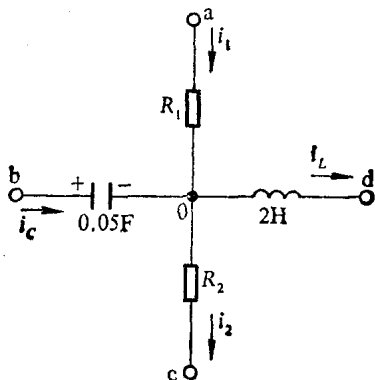


图 1-4

解 从已知条件判断, 应先求出 i_c , 由电容的支路方程有

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} = 0.05 \frac{d}{dt} (10\sin 30t) = 15\cos 30t\text{A}$$

在节点 0 应用 KCL 有

$$i_L = i_1 - i_2 + i_c$$

所以 $i_L = 4 - 5\cos 30t + 15\cos 30t = 4 + 10\cos 30t\text{A}$

而电压 $u_{bd} = u_c + L \frac{di_L}{dt} = -590\sin 30t\text{V}$

例 1-5 如图 1-5 所示电路, 其中 $R = 4\Omega$, $L = 2\text{H}$, $C = 0.1\text{F}$, $i_s = 2e^{-2t}\text{A}$ 和 $u_s = 10\sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right)\text{V}$ 。已知 $u_c(0) = 0$ 和 $i_L(0) = 0$, 求在 $t > 0$ 时, 电流源的电压 u 和电压源的电流 i 。

解 电路中虽然有两个不同的时间函数电源, 但电路仍满足 KVL 和 KCL。按图中参考方向, 由 KVL 有

$$u = u_R + u_C + u_s$$

而

$$u_R = Ri_s = 8e^{-2t}\text{V}$$

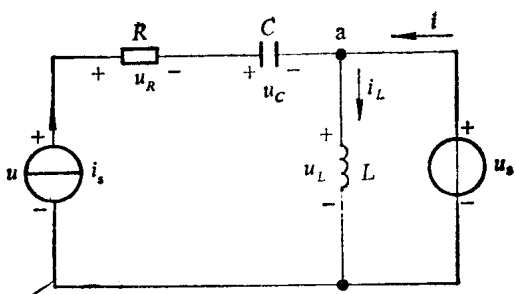


图 1-5

$$u_o = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi = 10(1 - e^{-2t}) \text{ V}$$

所以
$$u = 10 - 2e^{-2t} + 10 \sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ V}$$

在节点 a, 由 KCL 有

$$i = i_L - i_s$$

因为

$$\begin{aligned} i_L &= i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_s(\xi) d\xi \\ &= 1.25 - 2.5 \cos\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ A} \end{aligned}$$

所以

$$i = 1.25 - 2.5 \cos\left(2t + \frac{\pi}{3}\right) - 2e^{-2t} \text{ A}$$

例 1-6 电路如图 1-6 所示, 求电路中的 u , i_1 和 i_2 。

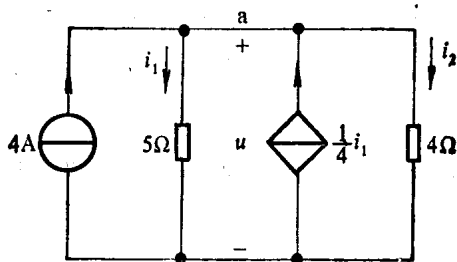


图 1-6

解 对电路中的节点 a, 应用 KCL 可写出

$$i_1 + i_2 = 4 + \frac{1}{4}i_1$$

整理后得

$$\frac{3}{4}i_1 + i_2 = 4$$

由欧姆定律

$$i_1 = \frac{u}{5}, \quad i_2 = \frac{u}{4}$$

将它们代入上式, 由此可得

$$\frac{3}{4}\left(\frac{u}{5}\right) + \frac{u}{4} = 4$$

$$u = 10 \text{ V}$$

$$i_1 = 2 \text{ A}$$

$$i_2 = 2.5 \text{ A}$$

显然, 受控电流源的值为

$$\frac{1}{4}i_1 = 0.5 \text{ A}$$

四、习题提示 (略)

五、参考书目

1. L. S. 鲍勃罗著 李望超主译 《线性电路分析基础》 高等教育出版社 1985 年

第一章 有关理想电源, 非独立电源, 基本定律等内容。

2. M. E. 范·法肯伯尔格著 杨行骏、郑君里、杨为理译 《网络分析》 科学出版社 1982 年

第一章 场与路的关系, 物理系统近似为电路等问题

3. C. A. 狄苏尔、葛守仁著 林争辉主译 《电路基本理论》 人民教育出版社 1979 年

第一章 集中参数电路、波长和电路的尺寸, 参考方向等

第二章 电阻电路的等效变换

一、重点和难点

1. 本章介绍简单电路的等效概念。它在电路分析中十分重要并被广泛应用。因此,对等效概念的理解应不断加深。

2. 电阻或电源的串、并联, Y— Δ 变换, 是电路的几种等效变换。通过变换有时可以将一个复杂的电路化简, 从而使电路的求解得以简化。深入领会等效变换的思想方法是十分重要的。

3. 一端口(网络)的输入电阻的计算, 在今后求戴维南或诺顿等效电路时是很有用的。必须注意, 当一端口内部有受控源时, 输入电阻有可能为零或负值。

二、学时安排

§ 2-1~§ 2-4 2 学时

§ 2-5~§ 2-6 及总复习 2 学时

三、例题分析

例 2-1 图示电路的 $u_s = 20\text{e}^{-t}\text{V}$, 试求电压 u 。

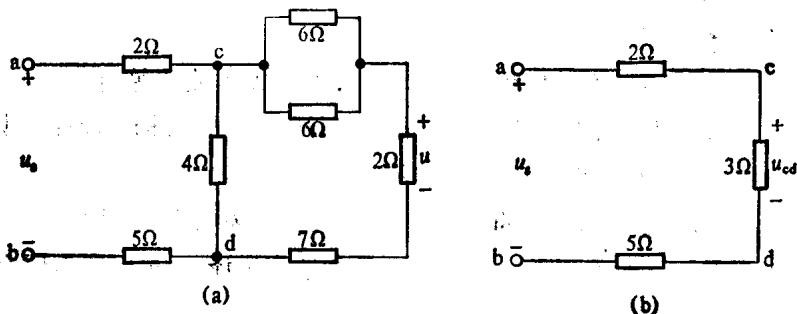


图 2-1

解 所给电路可用电阻串、并联的方法化简,利用电压分配公式,就可以求出电压 u 。

首先求出 c、d 二端的等效电阻

$$R_{cd} = \frac{4\left(7+2+\frac{6 \times 6}{6+6}\right)}{4+\left(7+2+\frac{6 \times 6}{6+6}\right)} = 3 \Omega$$

利用电压分配公式,得电压

$$u_{cd} = \frac{3}{5+2+3} \times 20e^{-t} = 6e^{-t} \text{ V}$$

再利用电压分配公式,得电压

$$u = \frac{2}{7+3+2} \times 6e^{-t} = e^{-t} \text{ V}$$

例 2-2 图中电路的电流源 $i_s = 15 \text{ A}$, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ 和 $R_4 = 12 \Omega$ 。已知在 R_2 两端的电压 $u_{ab} = 30 \text{ V}$, 试求 R_4 消耗的功率。

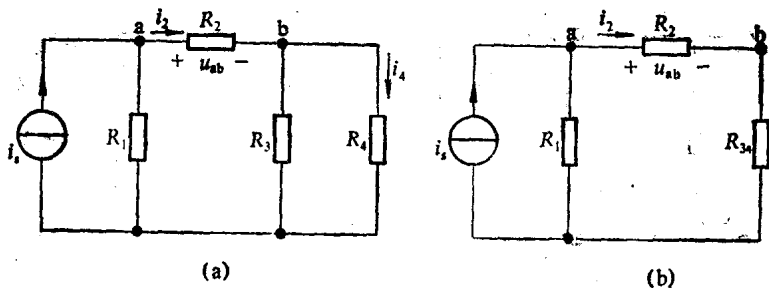


图 2-2

解 欲要计算出 R_4 消耗的功率,必须知道 R_4 中的电流(或电压)。从图中可以看出,如先求出 R_2 中的电流,然后应用电流分配公式就可以求出 R_4 中的电流。

于是,流经 R_2 的电流,应用电流分配公式可得

$$i_2 = \frac{3}{3 + R_2 + \frac{4 \times 12}{4 + 12}} \times 15 = \frac{45}{6 + R_2}$$

由于 R_2 是未知的, 因此 i_2 的值无法求出。但是, 从题意可得

$$u_{ab} = R_2 i_2$$

其中 $u_{ab} = 30 \text{ V}$, 从而得到

$$R_2 = 12 \Omega$$

$$i_2 = \frac{u_{ab}}{R_2} = 2.5 \text{ A}$$

$$i_4 = 0.625 \text{ A}$$

最后得到 R_4 消耗的功率为

$$P = R_4 i_4^2 = 4.688 \text{ W}$$

也可以应用电压分配公式求出 R_4 两端的电压。

例 2-3 求图中电路的等效电阻 R_{ab} 。已知 $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ 和 $R = 5 \Omega$ 。

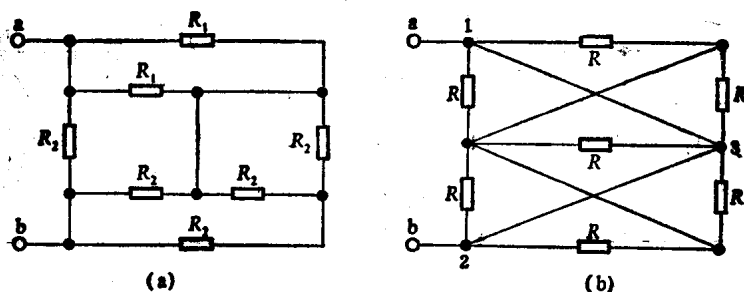


图 2-3

解 在求解等效电阻的问题时, 除了要熟练掌握电阻的串、并联和 Y- Δ 变换的方法外, 下列几点往往有助于解决问题。(1) 联接电阻元件的无电阻导线, 其长短和形状是无关紧要的。(2) 只要电阻元件的联接关系不变, 各元件可以放在任何位置。(3) 不

论电路采取什么画法,都能识别,并将其画成最简单的形式。

图 2-3 a 可以改画成图 2-3 a' 中各图。这样,图 2-3 a 的等效电阻

$$R_{ab} = \frac{R_2 \left[\frac{R_1 R_1}{R_1 + R_1} + \frac{R_2 \left(R_2 + \frac{R_2 R_2}{R_2 + R_2} \right)}{R_2 + \left(R_2 + \frac{R_2 R_2}{R_2 + R_2} \right)} \right]}{R_2 + \left[\frac{R_1 R_1}{R_1 + R_1} + \frac{R_2 \left(R_2 + \frac{R_2 R_2}{R_2 + R_2} \right)}{R_2 + \left(R_2 + \frac{R_2 R_2}{R_2 + R_2} \right)} \right]}$$

$$= 1.838 \Omega \quad \left(\text{或} \frac{68}{37} \Omega \right)$$

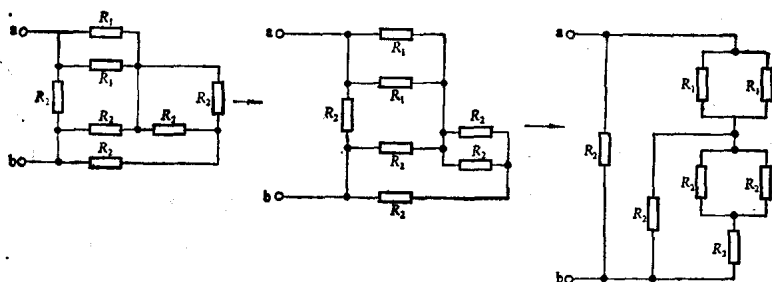


图 2-3a'

从图 2-3 b 可以看出支路 a 132 b 为电阻为零的通路, 即

$$R_{ab} = 0$$

例 2-4 求图 2-4 电路的等效电阻。

解 在计算等效电阻时, 往往会遇到两种特殊情况, 一是电路有等电位点, 二是电路中某支路没有电流。这时, 电路中的等电位点, 可以用短接线把它们联接起来, 而电路中没有电流的支路, 则可以把它断开。在一个具体电路中, 若能判断某支路的两端是等电位, 而且支路中又没有电流, 那么究竟是把它们联起来还是断开, 这就要看具体计算中怎样方便而定。

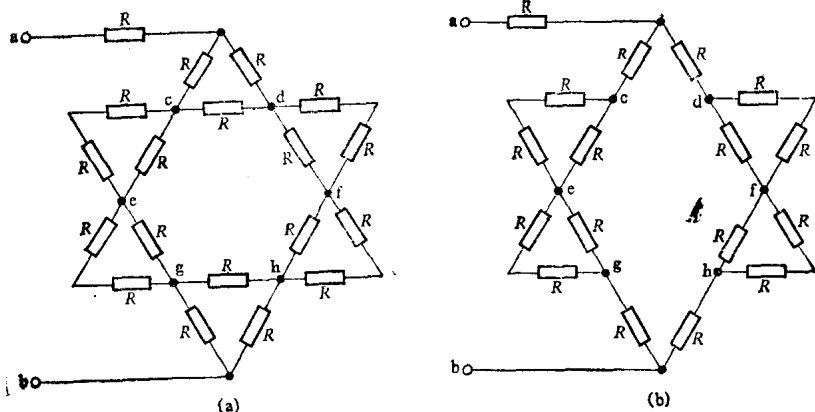


图 2-4

如图 2-4a, 根据对称条件可以看出, 当电流由 a 流入并由 b 端流出网络时, 节点 c 与 d 的电位相等, 节点 g 与 h 的电位也相等, 而且与它们相联接的 cd 支路和 gh 支路不可能有电流流过, 可以将这些支路断开, 如图 2-4 b。这样等效电阻就很容易的计算出来。值得指出的是, 节点 e 与 f 也是电位相等的点。由于它们之间没有联接, 让其保持原来状况, 或将 e 与 f 用导线短接, 对计算都一样方便。

于是, 等效电阻可计算得

$$R_{ab} = R + \frac{1}{2} \left[R + \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} + \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} + R \right] = \frac{8}{3} R$$

当然, 本题也可以用 Y-Δ 变换来求解。

例 2-5 求图 2-5a 所示电路电压 u , 已知 $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$, $R_4 = 40 \Omega$, $g = 0.1 \text{ S}$ 和 $i_s = 1.2 \text{ A}$ 。

解 首先将电压控制电流源和 R_2 的并联组合, 等效变换为图 2-5 b 所示的电压控制电压源和 R_2 的串联组合。由于 R_1 上存在控制量 u 要始终保留, 所以不能将它和并联的电流源 i_s 变换掉。