高校核心课程学习指导丛书

胡 钋 / 编著

电路学习指导与考研题精解

DIANLU XUEXI ZHIDAO
YU KAOYANTI JINGJIE

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是为报考相关专业硕士研究生的备考生以及正在学习电路的学生提供的一本系统全面的学习和复习用书。每章由三部分组成:内容提要、重点以及典型例题。内容提要部分尽可能简明扼要,以使读者在较短的时间内复习掌握最基本的概念;重点部分给出了该章需要重点掌握的知识点;典型例题部分既注重基本方法与基本概念,又注意典型与新颖的相互融合以及解题方法的巧妙构思,使读者在掌握好基本问题的基础上具备解决复杂、综合或技巧问题的能力,并达到融会贯通的境界。

图书在版编目(CIP)数据

电路学习指导与考研题精解/胡钋编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2018.4
ISBN 978-7-312-03641-5

Ⅰ. 电… Ⅱ. 胡… 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(2014)第 286194 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
http://press.ustc.edu.cn
https://zgkxjsdxcbs.tmall.com
印刷 中国科学技术大学印刷厂
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 41.25
字数 1175 千
版次 2018 年 4 月第 1 版
印次 2018 年 4 月第 1 次印刷
定价 99.00 元

序　　言

作者在长期的中、英文电路课程的教学研究和实践中，积累了比较丰富的经验并对电路问题进行了比较全面深入的系统研究，在大量精选、改造和自编的基础上，编著了这本《电路学习指导与考研题精解》。

本书的目的是为报考相关专业硕士研究生的备考生以及正在学习电路的学生提供一本系统全面的复习和学习用书，希望起到“授之以渔”作用，而非仅仅作为考试的“敲门砖”或快速掌握解题方法的“催熟剂”。

本书的每一章都由三部分组成，即该章的内容提要、重点以及典型例题。内容提要部分尽可能简明扼要，以使读者在较短的时间内复习掌握最基本的概念；重点部分给出了该章需重点掌握的知识点；典型例题部分既注重基本方法与基本概念，又注意典型与新颖的相互融合以及解题方法的巧妙构思，使读者在掌握好基本问题的基础上具备解决复杂、综合或技巧问题的能力，并达到融会贯通的境界。

本书每一章的典型例题都以该章各个重要的知识点进行组织，在各章之间也有交织，并非简单的“题海”随意堆砌而成，基本涵盖了每一章的基本和典型性与深化性问题，它们反映了电路理论的精华所在，也融汇了电路问题的关键。

由于电路问题的高度灵活性，读者应该抱着既学习又批判的态度来对待本书中的所有问题，相信如此而行，对于某些题目，读者所用的分析求解方法会比本书中的更简捷、更巧妙，因而本书更多起到的是“抛砖引玉”的作用。

本书在编著过程中得到了武汉大学电气工程学院唐炬、徐箭、查晓明、陈红坤、刘开培、阮江军、常湧等教授以及有关专家的极大帮助和关注，在此一并表示诚挚的谢意。

由于水平有限，书中难免存在不妥之处，望不吝指正。

编著者

2017 年 1 月于武汉珞珈山

目　　录

第 2 章　简单电阻电路的分析

2.1　内 容 提 要

1. 电阻的串联、并联和混联

（1）电阻的串联

电阻的串联是指在电路中将若干个电阻元件两两首尾相联构成一串。

串联电阻电路的特点：电路中只形成一个回路，电路中电流是公共量。

等效电阻 R_{eq}：$R_{eq}=\dfrac{u}{i}=\sum_{k=1}^{n}R_k$（串联电阻电路的等效电阻等于电路中各电阻之和）。

分压关系：$u_k=\dfrac{R_k}{R_{eq}}u$（串联电阻电路外加电源电压按各电阻值的大小成比例地分配在各电阻上）。

功率关系：$P_k=u_k i=\dfrac{R_k}{R_{eq}}ui=\dfrac{R_k}{R_{eq}}P$；$P=ui=\sum_{k=1}^{n}u_k i=\sum_{k=1}^{n}P_k$（串联电阻电路吸收的功率等于电路中各电阻元件吸收功率的总和；各电阻元件吸收的功率可看作整个电路吸收的功率按各电阻值的大小成比例地分配在各电阻上的结果）。

（2）电阻的并联

电阻的并联是指在电路中将若干个电阻元件首尾两端分别连接到两个节点上的连接。

并联电阻电路的特点：电路中只存在一个独立节点，电路中元件的端电压是公共量。

等效电导 G_{eq}：$G_{eq}=\dfrac{i}{u}=\sum_{k=1}^{n}G_k\left(G=\dfrac{1}{R}\right)$（并联电阻电路的等效电导等于电路中各支路电导之和）。

分流关系：$i_k=\dfrac{G_k}{G_{eq}}i$（并联电阻电路外加电源电流按各支路电导值的大小成比例地分配在各支路上）。

功率关系：$P_k=ui_k=\dfrac{G_k}{G_{eq}}ui=\dfrac{G_k}{G_{eq}}P$；$P=ui=\sum_{k=1}^{n}i_k u=\sum_{k=1}^{n}P_k$（并联电阻电路吸收的功率等于电路中各电阻元件吸收功率的总和；各电阻元件吸收的功率可看作整个电路吸收的功率按各电导值的大小成比例地分配在各电阻上的结果）。

（3）电阻的串并联（混联）

电阻的混联是指在电路中既有串联又有并联的连接方式。

分析方法：反复运用前述串联和并联电路的等效电阻（电导）、分压和分流的计算公式以及欧姆定律即可达到简化目的。

2. 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换

（1）星形电路等效变换为三角形电路：$\triangle$形电阻 $=\dfrac{\text{Y形电阻两两乘积之和}}{\text{Y形不相邻电阻}}$。

（2）三角形电路等效变换为星形电路：Y 形电阻 $=\dfrac{\triangle\text{形相邻电阻的乘积}}{\triangle\text{形电阻之和}}$。

(3) 若三个电阻相等,则 $R_Y=\frac{1}{3}R_\triangle$,$R_\triangle=3R_Y$。

3. 电源的等效变换

(1) 理想电压源的串联:对外可等效为一个电压源,其电压为 $u=u_{S1}+u_{S2}+\cdots+u_{Sn}$。

(2) 理想电流源的并联:对外可等效为一个电流源,其电流为 $i=i_{S1}+i_{S2}+\cdots+i_{Sn}$。

特别说明:只有电压相等极性一致的理想电压源才能并联;只有电流相等极性一致的理想电流源才允许串联。

(3) 理想电压源与其他元件的并联:对外可等效为与此电压源电压相同的电压源。

(4) 理想电流源与其他元件的串联:对外可等效为与此电流源电流相同的电流源。

(5) 实际电源的等效变换:在保持电路外特性不变的前提下,可将实际电压源和实际电流源进行等效变换。具体如表 2-1 所示。

表 2-1 实际电压源与实际电流源

说　明	实际电压源	实际电流源
电路模型	理想电压源 u_S 与电阻 R_S 串联	理想电流源 i_S 与电阻 R_S 并联
约束方程	$u=u_S-iR_S$, $i=\frac{u_S-u}{R_S}$	$i=i_S-\frac{u}{R_S}$, $u=(i_S-i)R_S$
等效	保持外特性不变,则 $u_S=i_SR_S$	

(6) 受控源的等效变换:类似于实际电源的等效变换,注意一般应保留控制支路,以保证控制关系的存在。

4. 输入电阻

求解无源二端电路的输入电阻通常有两种方法:

(1) 外加电源法

在端口处施加电压源或电流源的基础上通过列写方程解对应的端口电流或端口电压,从而计算其输入电阻。

(2) 等效变换法

运用电阻串并联公式或电阻的星形连接与三角形连接的等效变换来计算等效的输入电阻。

2.2 重　　点

(1) 电阻的串联、并联和混联。

(2) 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换。

(3) 含源电路的等效变换。

(4) 输入电阻(等效电阻)的求解。

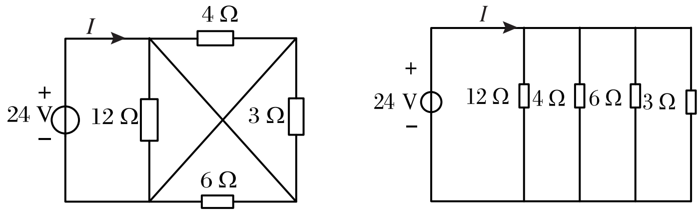
2.3 典 型 例 题

1. 简单电路的串并联计算

2-1　试求图 2-1(a)所示电路中电压源的电流 I。

解　将图 2-1(a)改画为图 2-1(b)，则有

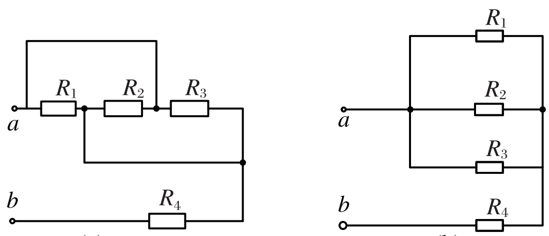
$$I=\frac{24}{12}+\frac{24}{4}+\frac{24}{6}+\frac{24}{3}=2+6+4+8=20(\mathrm{A})$$



(a)　(b)

图 2-1

2-2　如图 2-2(a)所示的电路中，$R_1=R_2=20(\Omega)$，$R_3=R_4=10(\Omega)$，求等效电阻 R_{ab}。



(a)　(b)

图 2-2

解　可将原题中的电路图等效改画为图 2-2(b)。根据串并联电阻之间的关系，可知

$$R_{ab}=(R_1 /\!/ R_2 /\!/ R_3)+R_4=\frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2++R_2R_3+R_3R_1}+R_4$$

计算得

$$R_{ab}=(20 /\!/ 20 /\!/ 10)+10=15(\Omega)$$

2-3　求图 2-3 所示电路中电流源两端电压 U 和流过电压源的电流 I_1、I_3、I_5。

解　根据 KVL 和欧姆定律，得

$$I_1=\frac{1-5-3}{1}=-7(\mathrm{A})$$

根据 KCL 和欧姆定律得

$$I_3=\frac{3}{2}+2-I_1=\frac{3}{2}+2-(-7)=10.5(\mathrm{A})$$

$$I_5=\frac{5}{10}+2-I_1=0.5+2-(-7)=9.5(\mathrm{A})$$

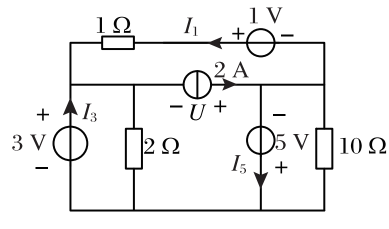


图 2-3

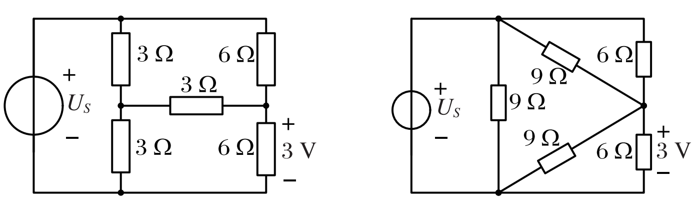
由 KVL 得

$$U=-5-3=-8(\mathrm{V})$$

2．Y-△ 变换

2-4　有如图 2-4(a)所示电路，求电压 U_S。

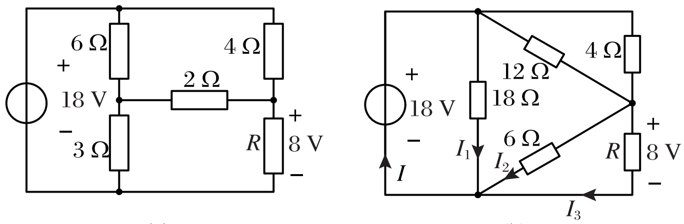
解　根据 Y-△变换，原图可等效改画为如图 2-4(b)所示的电路。根据电路的对称性可知 $U_S=2\times3=6(\mathrm{V})$。



(a)　(b)

图 2-4

2－5　有如图 2－5(a)所示电路,求 R。



(a)　　(b)

图 2－5

解　根据 Y－△变换,原图可等效为如图 2－5(b)所示的电路。由图 2－5(b)知

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{18}{18} = 1(\mathrm{A}),\quad I_2 = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}(\mathrm{A}),\quad I_3 = \frac{8}{R}(\mathrm{A})$$

$$R_{总} = 18 /\!/ (12 /\!/ 4 + 6 /\!/ R) = 18 /\!/ \left(3 + \frac{6R}{6+R}\right) = \frac{(18+9R)\times 18}{126+27R}$$

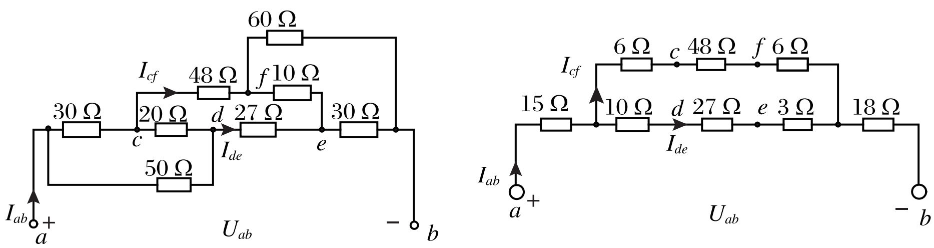
$$I = \frac{126+27R}{18+9R}$$

又

$$I = 1 + \frac{4}{3} + \frac{8}{R}$$

可得 $R = 4(\Omega)$。

2－6　在如图 2－6(a)所示的电路中,$U_{ab} = 114(\mathrm{V})$,求电流 I_{cf} 和 I_{de}。



(a)　　(b)

图 2－6

解　在保持待求电流的支路 cf 和 de 不变动的前提下,通过 Y－△等效变换,将图 2－6(a)变为图 2－6(b),则总电流为

$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{R_{ab}} = \frac{114}{15 + (6+48+6) /\!/ (10+27+3) + 18} = \frac{114}{15+24+18} = \frac{114}{57} = 2(\mathrm{A})$$

由分流公式,待求电流分别为

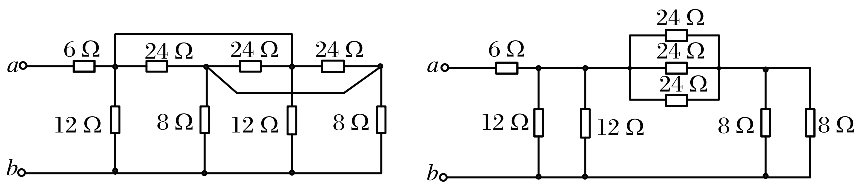
$$I_{cf} = \frac{10+27+3}{(6+48+6)+(10+27+3)} \times 2 = 0.8(\mathrm{A})$$

$$I_{de} = \frac{6+48+6}{(6+48+6)+(10+27+3)} \times 2 = 1.2(\mathrm{A})$$

2－7　计算如图 2－7(a)所示电路的等效电阻。

解　将原电路改画成如图 2－7(b)所示的电路,有

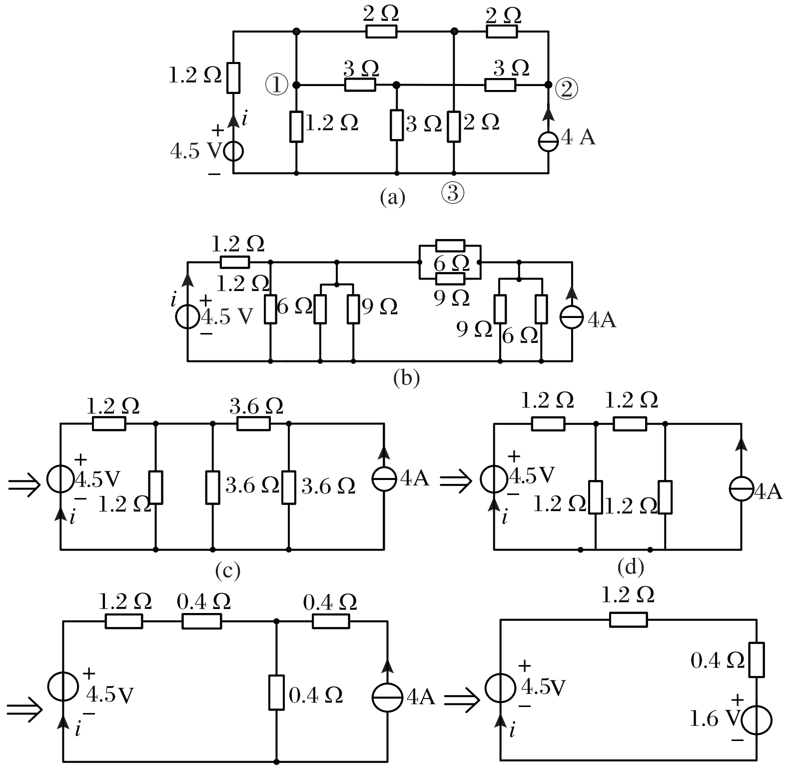
$$R_{ab} = \frac{\left(\frac{24}{3} + \frac{8}{2}\right) \times \frac{12}{2}}{\frac{24}{3} + \frac{8}{2} + \frac{12}{2}} + 6 = 10(\Omega)$$



(a)　　　　(b)

图 2－7

2－8　利用等效变换计算图 2－8 所示电路的电流 i。



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

图 2－8

解　在每一步变换都保持对被计算量的等效关系的前提下，原电路可逐级等效为如图 2－8(b)(c)、(d)、(e)、(f)所示的电路，首先将节点①、②和③之间的两个 Y 形电路（分别为 3(Ω)－3(Ω)－3(Ω)和 2(Ω)－2(Ω)－2(Ω)）分别等效为△形电路，如图 2－8(b)所示，再逐级等效下去直到图 2－8(f)。由图 2－8(f)可得

$$i = \frac{4.5 - 1.6}{1.6 + 0.4} = 1.45(\mathrm{A})$$

要点　本题主要考核对电阻等效变换的掌握，应充分利用 Y 形连接和△形连接的等效变换，同时对电源的等效变换求解能力有一定的要求。

2－9　在如图 2－9(a)所示电路中，已知 $R_1 = 1(\Omega)$，$R_2 = 2(\Omega)$，$R_3 = 3(\Omega)$，$R_4 = 4(\Omega)$，$R_5 = 5(\Omega)$，$r_1 = 4(\Omega)$，$r_2 = 5(\Omega)$，$r_3 = 6(\Omega)$，$I_S = 4(\mathrm{A})$，$U_S = 12(\mathrm{V})$，试求电流 I。

解　先将图 2－9(a)中的两个星形连接分别变换为三角形连接，如图 2－9(b)所示。此时有

$$r_{12} = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}{r_3} = \frac{4 \times 5 + 5 \times 6 + 6 \times 4}{6} = \frac{74}{6} = 12.3(\Omega)$$

$$r_{23} = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}{r_1} = \frac{74}{4} = 18.5(\Omega)$$

$$r_{13}=\frac{r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1}{r_2}=\frac{74}{5}=14.8(\Omega)$$

$$R_{12}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_3}=\frac{1\times2+2\times3+3\times1}{3}=\frac{11}{3}(\Omega)$$

$$R_{23}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_1}=\frac{11}{1}=11(\Omega)$$

$$R_{13}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_2}=\frac{11}{2}=5.5(\Omega)$$

再应用串并联等效化简法将图 2-9(b)化简为图 2-9(c)。此时有

$$R'_{13}=\frac{r_{13}R_{13}}{r_{13}+R_{13}}=4(\Omega)$$

$$R'_{12}=\frac{r_{12}R_{12}}{r_{12}+R_{12}}=2.82(\Omega)$$

$$R'_{23}=\frac{r_{23}R_{23}}{r_{23}+R_{23}}=6.9(\Omega)$$

$$R'_{234}=\frac{R_4R'_{23}}{R_4+R'_{23}}=2.53(\Omega)$$

将图 2-9(c)中的三角形连接等效变换为星形连接,如图 2-9(d)所示。此时有

$$r_1'=\frac{R'_{12}R'_{13}}{R'_{12}+R'_{234}+R'_{13}}=1.18(\Omega)$$

$$r_2'=\frac{R'_{12}R'_{234}}{R'_{12}+R'_{234}+R'_{13}}=0.763(\Omega)$$

$$r_3'=\frac{R'_{13}R'_{234}}{R'_{12}+R'_{234}+R'_{13}}=1.08(\Omega)$$

由图 2-9(d)可得

$$I=\frac{U_S-r_2'I_S}{R_5+r_3'+r_2'}=\frac{12-0.763\times4}{5+1.08+0.763}=1.3(\text{A})$$

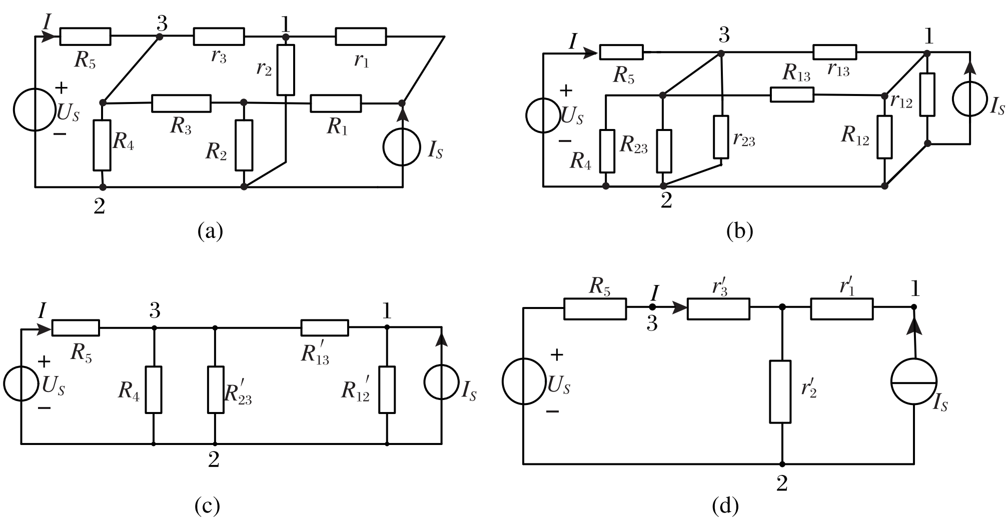


图 2-9

补充 Y-△变换基本要点。

对如图 2-10 所示变换,有

$$R_{12}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}{R_3}>R_1 \text{ 和 } R_2$$

$$R_{23} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_1} > R_2 \text{ 和 } R_3$$

$$R_{13} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_2} > R_1 \text{ 和 } R_3$$

对图 2-11 所示变换，有

$$r_1 = \frac{r_{12}r_{13}}{r_{12} + r_{23} + r_{13}} < r_{12} \text{ 和 } r_{13}$$

$$r_2 = \frac{r_{23}r_{12}}{r_{12} + r_{23} + r_{13}} < r_{23} \text{ 和 } r_{12}$$

$$r_3 = \frac{r_{13}r_{23}}{r_{12} + r_{23} + r_{13}} < r_{13} \text{ 和 } r_{23}$$

（备注：可用大于或小于的概念判断计算结果的正误。）

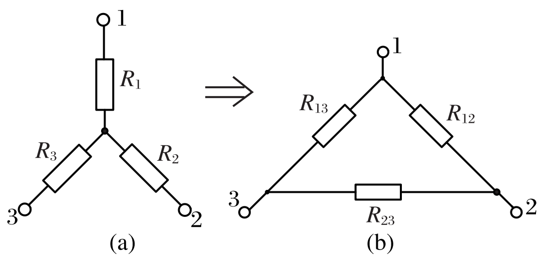


图 2-10

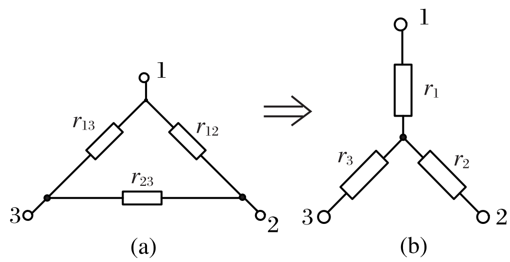


图 2-11

3．电桥平衡

2-10　如图 2-12(a)所示电路中，各电阻均为 1 (Ω)，且 $U_S = 100$(V)，求 I。

解　将图 2-12(a)所示电路改画成图 2-12(b)形式，并利用其中平衡电桥的特征，等效为图 2-12(c)，得

$$I_0 = \frac{100}{1 + \frac{2}{2}} = 50(\text{A})$$

而 $I = -\frac{1}{2}I_0 = -25(\text{A})$。

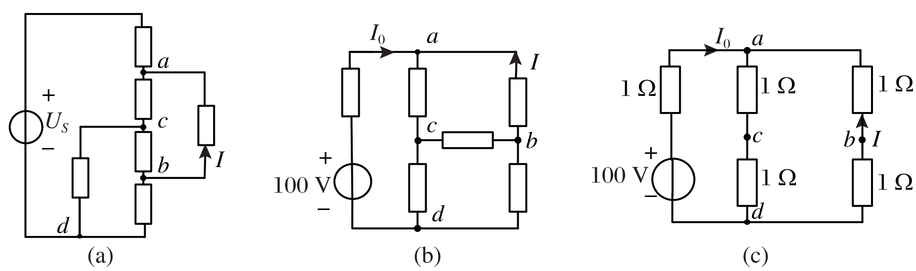


图 2-12

2-11　图 2-13(a)所示电桥电路中，桥臂 1(R_1 支路)接入前，bc 端电压 $U_{bc} = 2$(V)，桥臂 1 接入后电桥平衡，且 $I_1 = 2$(mA)。当 R_1 减小 200 Ω 后，桥臂 2 电流 $I_2 = 1.997$(mA)。问 R_1 变化多少才可以使 $I_2 = 2.006$(mA)。

解　除 R_1 外有源二端网络的等效电路如图 2-13(b)中 bc 左侧所示，由已知得出等值电压源为 bc 端开路电压 2 V，R_0 为 b、c 看进去的等值电阻。

由电桥平衡时的已知条件和平衡等效电路，可求出

$$I_1 = I_2 = \frac{2}{R_0 + R_1} = 2(\text{mA})$$

所以

$$R_0 + R_1 = 1(\text{k}\Omega)$$

当 R_1 变化 ΔR 时，由图 2－13(b)所示的等效电路可求出 ΔR 端电压为

$$\Delta U = 2 \times \frac{\Delta R}{R_0 + R_1 + \Delta R} = \frac{2\Delta R}{1 + \Delta R}$$

根据替代原理和叠加原理，R_1 变化 ΔR 时 R_2 支路电流可由图 2－13(c)、(d)两电路叠加求得，其中一个分量 I_2' 为电桥平衡时的电流，即 $I_2' = 2(\text{mA})$，而另一个分量 ΔI_2 则由 ΔU 产生，据齐性性质有

$$\Delta I_2 = K\Delta U = \frac{2K\Delta R}{1 + \Delta R}$$

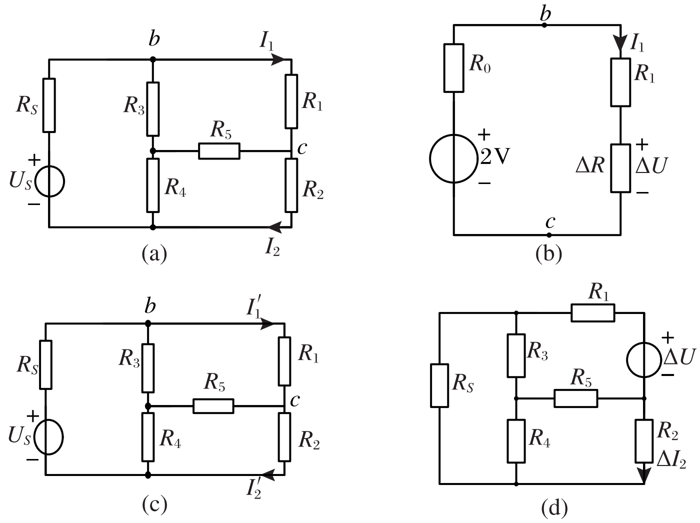


图 2－13

由已知，当 $\Delta R = -0.2(\text{k}\Omega)$ 时，$\Delta I_2 = 1.997 - 2 = -0.003(\text{mA})$，可求出 $K = 0.006$；当 $I_2 = 2.006(\text{mA})$，即 $\Delta I_2 = 2.006 - 2 = 0.006(\text{mA})$ 时，由 $\Delta I_2 = K\Delta U = \dfrac{2K\Delta R}{1+\Delta R}$，可求出 $\Delta R = 1(\text{k}\Omega)$。

2－12　有如图 2－14(a)所示电路，求支路电流 I_1、I_2、I_3、I_4、I_5。

解　原电路为三级双口桥梯形网络级联，如图 2－14(b)所示。每一对称双口网络是特性阻抗为 1 Ω 的匹配连接的平衡电桥，如图 2－14(c)所示。应用叠加定理，当左端 10 V 电压源单独作用时(将 6 V 电压源短路)，则可得如图 2－14(d)所示的等效电路。因此，对第一级双口网络，有

$$I_1' = \frac{U_1}{R_1 + R_{总}} = \frac{10}{2} = 5(\text{A})$$

$$I_2' = \frac{1}{2}I_1' = 2.5(\text{A})$$

类似地，对第二级双口网络，有

$$I_3' = \frac{1}{2}I_2' = 1.25(\text{A})$$

对第三级双口网络，有

$$I_4' = \frac{1}{2}I_3' = 0.625(\text{A})$$

$$I_5' = I_4' = 0.625(\text{A})$$

右边 6 V 电压源单独作用时(左边 10 V 电压源短路)，其等效电路如图 2－14(e)所示。因此，对第三级双口网络，有

$$I_5'' = \frac{-U_2}{R + R_{等}} = \frac{-6}{2} = -3(\text{A})$$

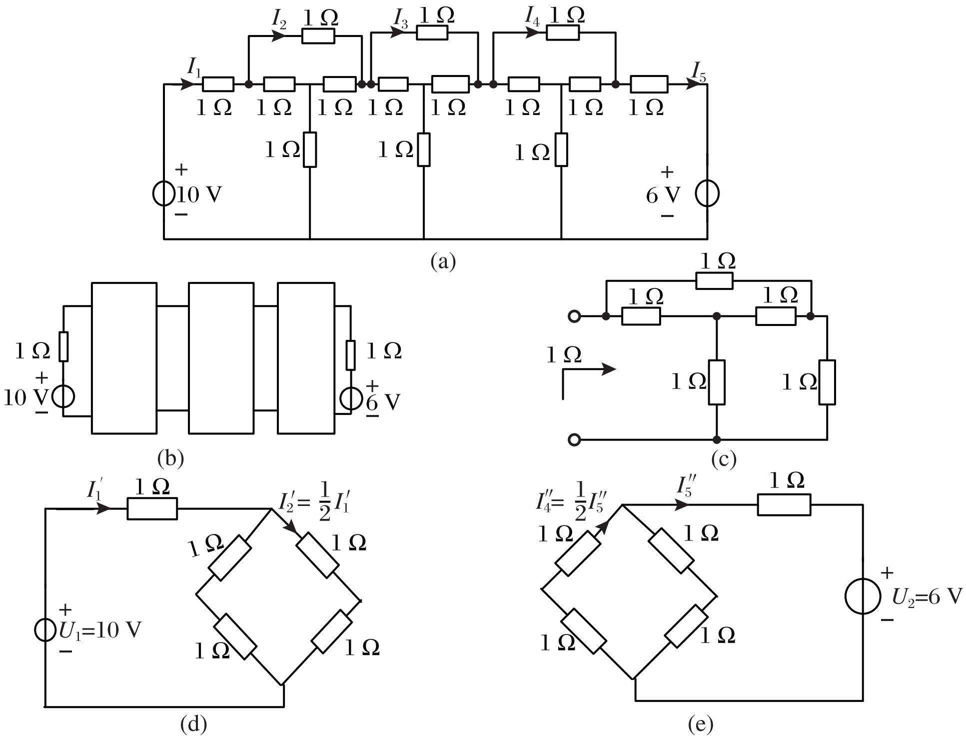


图 2 - 14

$$I_4'' = \frac{1}{2}I_5'' = -1.5(\mathrm{A})$$

类似地，对第二级双口网络，有

$$I_3'' = \frac{1}{2}I_4'' = -0.75(\mathrm{A})$$

对第一级双口网络，有

$$I_2'' = \frac{1}{2}I_3'' = -0.375(\mathrm{A})$$

$$I_1'' = I_2'' = -0.375(\mathrm{A})$$

于是，便可得 10 V 电压源与 6 V 电压源共同作用时网络中的电流，即

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 5 - 0.375 = 4.625(\mathrm{A})$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 2.5 - 0.375 = 2.125(\mathrm{A})$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 1.25 - 0.75 = 0.5(\mathrm{A})$$

$$I_4 = I_4' + I_4'' = 0.625 - 1.5 = -0.875(\mathrm{A})$$

$$I_5 = I_5' + I_5'' = 0.625 - 3 = -2.375(\mathrm{A})$$

4. 等效电源变换

2 - 13　已知如图 2 - 15(a)所示的电路，求 u、i 以及支路 X 吸收的功率。

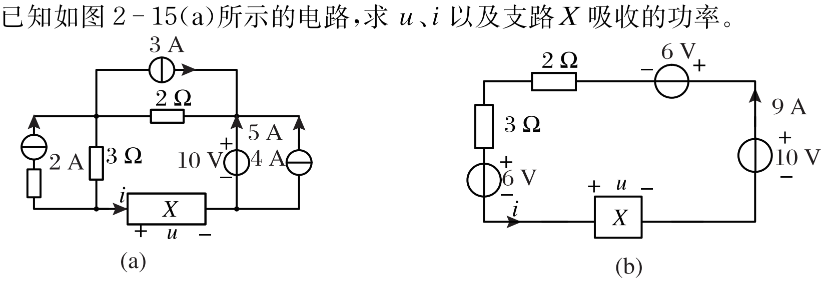


图 2 - 15

解　求支路 X 的 u、i、P 时，可应用电源等效变换将图 2－15(a)电路等效变换成图 2－15(b)所示电路。在图 2－15(b)中，10 V 电压源中流过的电流为 $i=5+4=9$(A)。应用 KVL，有

$$(2+3)i+u=10-6-6=-2(\text{V})$$

所以

$$u=-2-5i=-2-5\times 9=-47(\text{V})$$

而

$$P=ui=-47\times 9=-423(\text{W})(\text{实际发出})$$

2－14　求图 2－16(a)所示电路中 5 Ω 电阻消耗的功率。

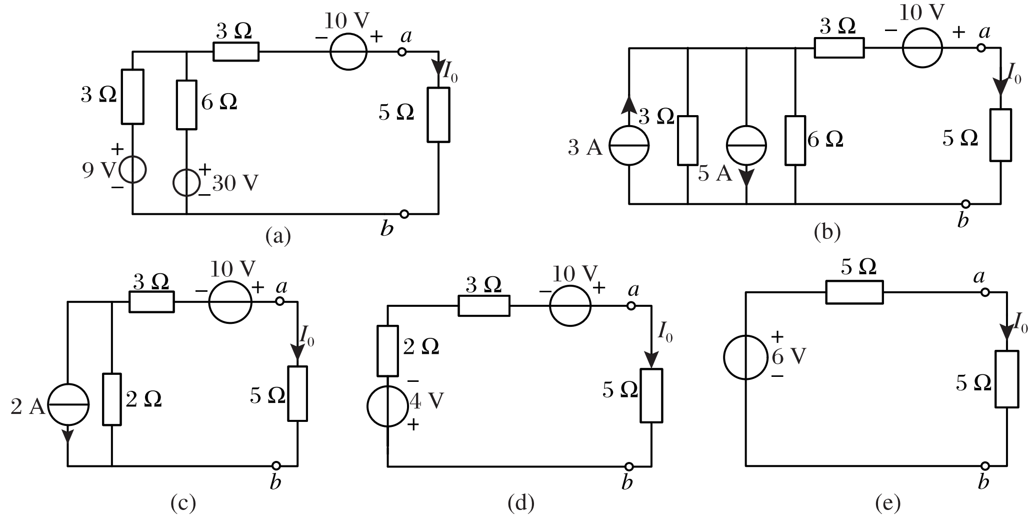


图 2－16

解　将 5 Ω 电阻支路抽出，对剩余的二端网络等效化简，过程如图 2－16 所示。由图 2－16(e)得 $I_0=\dfrac{6}{5+5}=0.6$(A)，则 5 Ω 电阻消耗的功率为 $P_{5\,\Omega}=5I_0^2=5\times 0.6^2=1.8$(W)。

2－15　试求图 2－17(a)所示电路中 4 Ω 电阻消耗的功率。

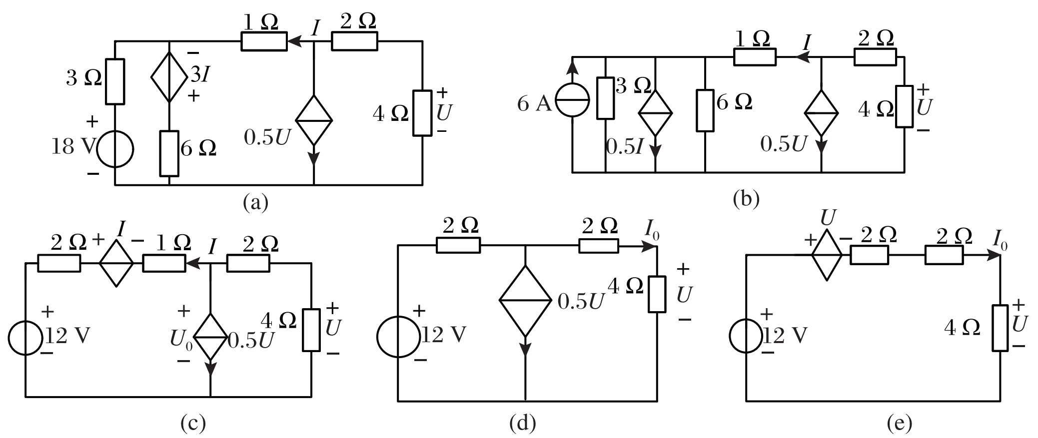


图 2－17

解　对原电路进行等效化简，过程如图 2－17(b)、(c)所示。由图 2－17(c)得

$$U_0=I-I+2I+12=12+2I$$

所以图 2－17(c)可等效为图 2－17(d)。对图 2－17(d)电路，利用电流源转移以及电压源与任一元件并联对外等效为该电压源，进一步等效化简可得图 2－17(e)。由图2－17(e)，得

$$8I_0=-U+12$$

$$U = 4I_0$$

联立上面两个方程可得 $I_0 = 1(\mathrm{A})$，因此，$P_{4\Omega} = I_0^2 \times 4 = 4(\mathrm{W})$。

2-16　图 2-18(a)所示电路中，N_1、N_2 均为含独立电源的线性电路，试求 U 值。

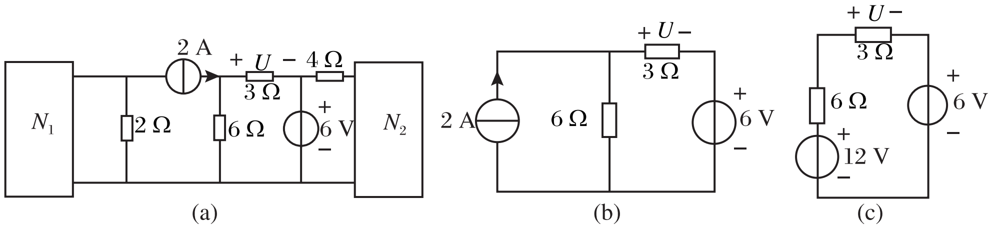


图 2-18

解　将图 2-18(a)电路等效为图 2-18(b)所示电路，进一步再等效为图 2-18(c)所示电路，可得 $U = \dfrac{3}{3+6} \times (12-6) = 2(\mathrm{V})$。

2-17　图 2-19 为一些电源的组合，试画出其端口 a、b 间的等效电路。

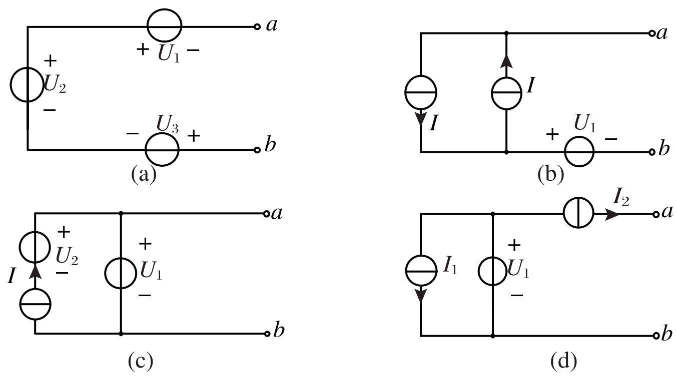


图 2-19

解　(a) 根据 KVL，得 $U_{ab} = U_2 - U_1 - U_3$，因为三个理想电压源串联可以等效为一个电压源，等效电路图如图 2-20(a)所示。

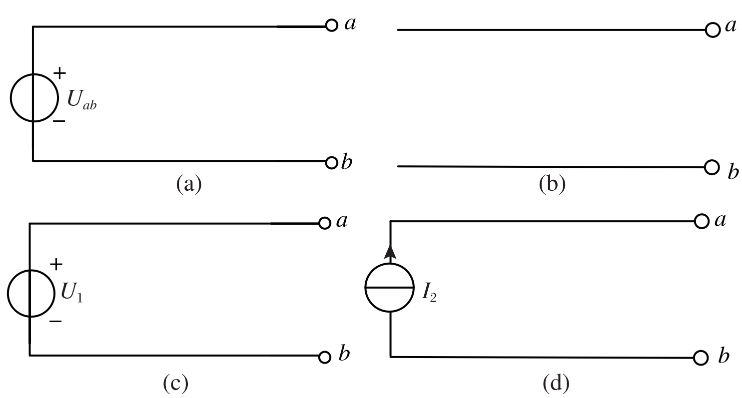


图 2-20

(b) 图中为两个理想电流源并联后，再与一个理想电压源串联，根据 KCL，得 $I_{ab} = I - I = 0$，即 a、b 间电流为 0，相当于开路，等效电路图如图 2-20(b)所示。

(c) 图中为理想电压源 U_2 与理想电流源 I 串联后，再与理想电压源 U_1 并联，由 KVL，得 $U_{ab} = U_1$，等效为一个电压源，等效电路图如图 2-20(c)所示。

(d) 图中为理想电压源 U_1 与理想电流源 I_1 并联后，再与理想电流源 I_2 串联，可得 $I_{ab} = -I_2$，

则 a、b 间可等效为一个电流源，等效电路图如图 2－20(d)所示。

要点 本题考查的理想电压源及理想电流源是电路分析中常遇到的元件，通常认为理想电压源和理想电流源内阻为零，理想电压源的端电压为已知，其端电流由外电路决定，而理想电流源的端电流为已知，其端电压由外电路决定。如本题中(c)图，理想电压源 U_2 的端电流由与之串联的电流源 I 决定，而理想电流源 I 的端电压可由 KVL 求出为 U_1 和 U_2 的代数和。

2－18 在图 2－21(a)所示电路中，已知 $U_S=10(\mathrm{V})$，$I_S=4(\mathrm{A})$，$R_1=1(\Omega)$，$R_2=2(\Omega)$，$R_3=5(\Omega)$。(1) 求受控电源发出的功率；(2) 若将受控电源的功率提高到原来的 4 倍，应怎样改变电路参数？

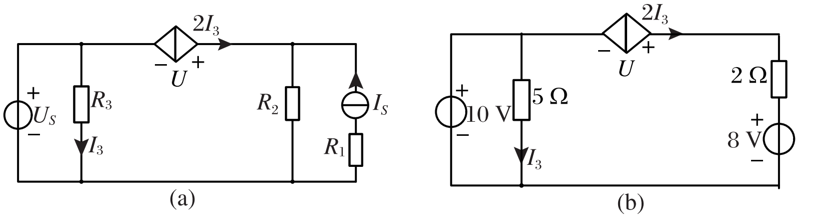


图 2－21

解 (1) 由于 R_1 与电流源 I_S 串联，对外等效为 I_S，再由 I_S 和 R_2 并联支路可等效为电压源和电阻串联，等效的电压源电压为 $I_S\times R_2=4\times2=8(\mathrm{V})$，等效的电阻为 2 Ω，可将电路变换为图 2－21(b)所示电路。在图中，有 $I_3=\dfrac{U_S}{R_3}=\dfrac{10}{5}=2(\mathrm{A})$。由 KVL，可得 $U=2I_3\times2+8-10=6(\mathrm{V})$，且电压 U 与受控电流源电流方向非关联，所以受控源发出的功率为 $P=U\times2I_3=6\times2\times2=24(\mathrm{W})$。

(2) 保持受控源的电流 $2I_3$ 不变，可通过改变其电压为 $U'=4U$，使受控源发出功率 $P'=4P$。又因上问中得到 $U=2I_3\times2+8-U_S$，因保持 I_3 不变时，$U_S=R_3\cdot I_3$ 不变，当 $U'=4U$ 时，需将8 V 电压源变为 26 V，即 4 A 电流源变为 13 A。所以，将 4(A)电流源变为 13(A)，其余参数不变时，$U'=4U=24(\mathrm{V})$。此时受控源发出的功率为 $P'=U'\times2I_3=24\times2\times2=96(\mathrm{W})$，为原来的 4 倍。

要点 本题第一问是常见题型，已知电路结构及元件参数，要求某支路功率，只要先求出该支路电压和电流即可。第二问要求使支路功率变为原来 4 倍的元件参数，是一种逆问题，而要改变支路功率，可分别通过改变支路电压或支路电流实现，再由电压或电流的表达式倒推回去，得到原电路元件参数的改变情况。本题第二问可先把要求的功率用图中所有参数构成的表达式来表示，再逐一改变各参数来使功率变为原来的 4 倍，有多种求解结果。

2－19 对图 2－22(a)所示电路，用戴维南定理求电流 i。

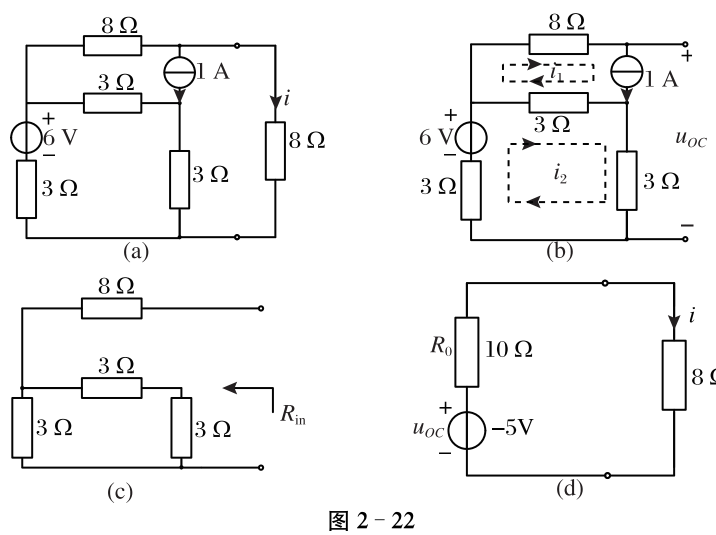


图 2－22

解　(1) 根据图 2－22(b)求端口开路电压 u_{OC}，$i_1=1(\mathrm{A})$，$9i_2-3i_1=6(\mathrm{A})$，解得 $i_1=1(\mathrm{A})$，$i_2=1(\mathrm{A})$，故

$$u_{OC}=-8i_1+6-3i_2=-8\times1+6-3\times1=-5(\mathrm{V})$$

(2) 根据图 2－22(c)求端口输入电阻 R_{in}：

$$R_{in}=8+\frac{6\times3}{6+3}=10(\Omega)$$

(3) 可作出等效电路如图 2－22(d)所示，故得

$$i=\frac{-5}{10+8}=-\frac{5}{18}=0.278(\mathrm{A})$$

2－20　如图 2－23 所示，利用有伴电源的等效变换计算 2 V 电压源的功率，所有电阻均为 1 Ω。

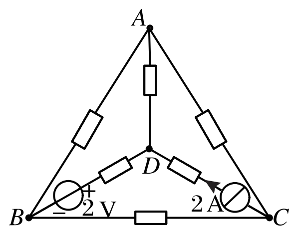


图 2－23

解　方法一：电路变换如图 2－24 所示。首先把以点 A 为中心点，点 B、C、D 为外点的星形连接等效变换为三角形连接，再利用有伴电源的等效变换化简电路。

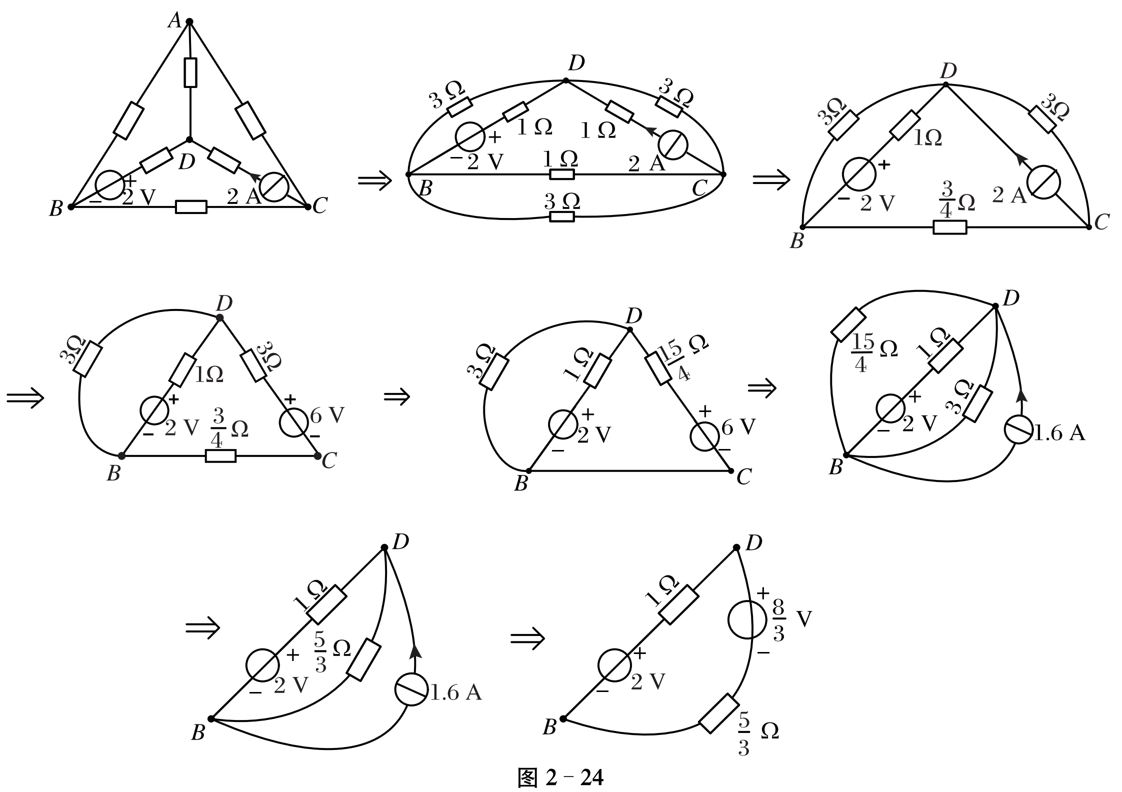


图 2－24

2V 电压源的功率为 $2\times\dfrac{\frac{8}{3}-2}{1+\frac{5}{3}}=0.5(\mathrm{W})$(吸收)。

方法二：电路变换如图 2－25 所示。

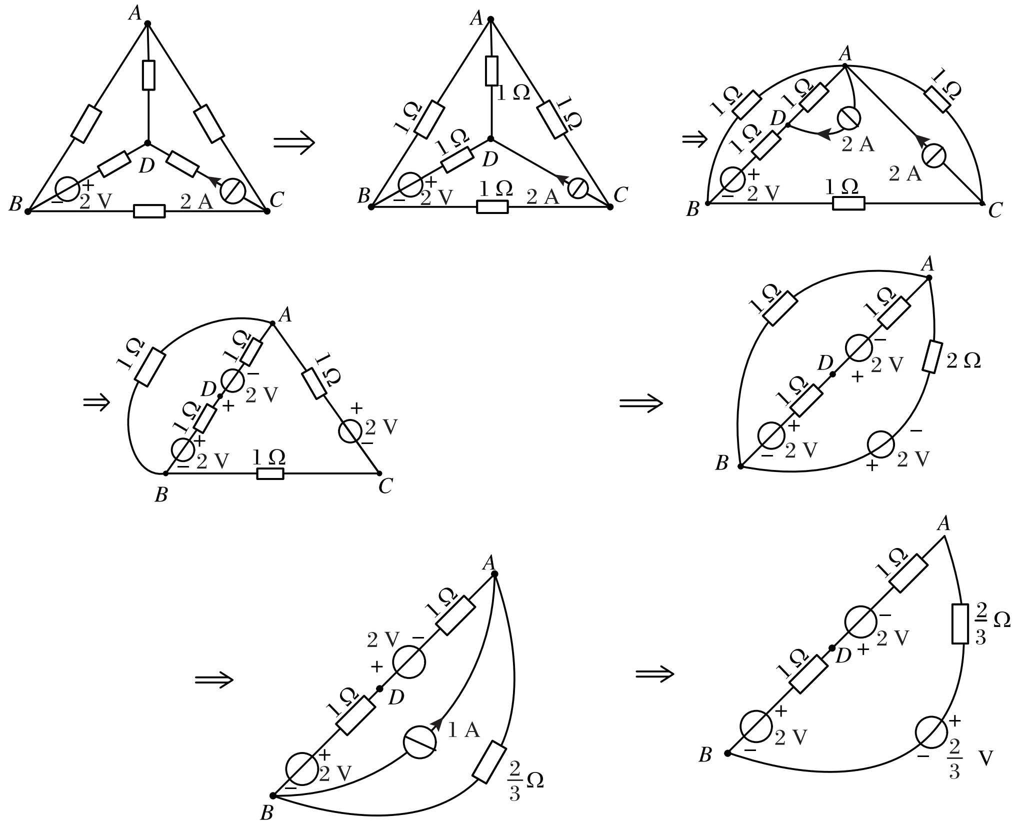


图 2-25

同样可得 2 V 电压源的功率为 $2\times\dfrac{\frac{2}{3}+2-2}{1+1+\frac{2}{3}}=0.5$(W)(吸收)。

要点 有伴电源的等效转换在分析电路时经常用到，在进行变换时，注意要将所求支路保持不变，其余部分电路可化简。

2-21 试以节点分析法求图 2-26 电路中流过 R_L 的电流 I。

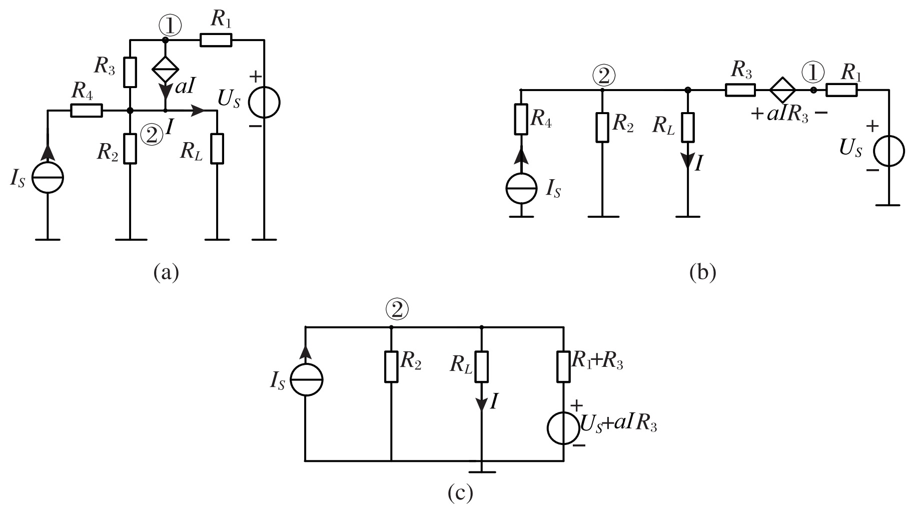


图 2-26

解 本题电路有两个独立节点①与②，如将 R_3 与受控电流源 aI 的并联用一等效电压源代替，

则独立节点可减少为一个，如图 2 - 26 所示。

设节点②对地的电位为 φ_2，于是有

$$\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_L}+\frac{1}{R_1+R_3}\right)\varphi_2 = I_S+\frac{U_S}{R_1+R_3}+\frac{aR_3}{R_1+R_3}I = I_S+\frac{U_S}{R_1+R_3}+\frac{aR_3}{R_1+R_3}\cdot\frac{\varphi_2}{R_L}$$

整理得

$$\left[\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_L}+\frac{1}{R_1+R_3}-\frac{aR_3}{(R_1+R_3)R_L}\right]\varphi_2 = I_S+\frac{U_S}{R_1+R_3}$$

解得

$$\varphi_2=\frac{\left(I_S+\dfrac{U_S}{R_1+R_3}\right)}{\left[\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_L}+\dfrac{1}{R_1+R_3}-\dfrac{aR_3}{(R_1+R_3)R_L}\right]}$$

因此可求得

$$\begin{aligned}I=\frac{\varphi_2-0}{R_L}&=\frac{\left[\dfrac{I_S}{R_L}+\dfrac{U_S}{R_L(R_1+R_3)}\right]}{\left[\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_L}+\dfrac{1}{R_1+R_3}-\dfrac{aR_3}{(R_1+R_3)R_L}\right]}\\&=\frac{[R_2(R_1+R_3)I_S+R_2U_S]}{[(R_1+R_3)R_L+R_2(R_1+R_3)+R_2R_L-aR_2R_3]}\\&=\frac{R_2[(R_1+R_3)I_S+U_S]}{[R_1R_2+(1-a)R_2R_3+(R_1+R_2+R_3)R_L]}\end{aligned}$$

2 - 22　求如图 2 - 27(a)所示电路图中的电压 u_x。

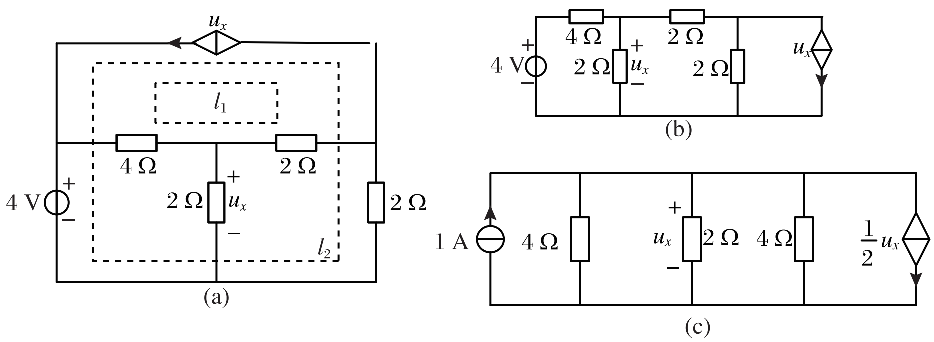


图 2 - 27

解　先将受控电流源 u_x 转移到回路 l_2 的其他两条支路上，如图 2 - 27(b)所示，图中已将与 4 V 电压源并联的受控电流源等效除去。再对图 2 - 27(b)电路作电源等效变换，结果如图 2 - 27(c)所示。

对图 2 - 27(c)电路，由 KCL，得

$$\frac{u_x}{4}+\frac{u_x}{2}+\frac{u_x}{4}+\frac{u_x}{2}=1$$

解之得 $u_x=\dfrac{2}{3}$(V)。

2 - 23　图 2 - 28(a)所示电路，已知 S 打开和闭合时，I_1 的值不变，求 R 的值。

解　欲使在 S 断开与闭合两种情况下，电流 I_1 的值不变，就只能有 a、b 两点之间的电压 $U_{ab}=0$。应用戴维南定理求解。

(1) 根据图 2 - 28(b)电路求端口 ab 的开路电压 U_{OC}，进一步再等效为图 2 - 28(c)电路，故得

$$I=\frac{9+3}{3+6}=\frac{4}{3}(\text{A})$$

又得

$$I_0 = I - 1 = \frac{4}{3} - 1 = \frac{1}{3}(\mathrm{A})$$

故

$$U_{OC} = 3 \times 1 - 3I_0 + 9 = 12 - 3 \times \frac{1}{3} = 11(\mathrm{V})$$

（2）根据图 2-28（d）电路求端口 ab 的输入电阻 R_{in}，得

$$R_{\mathrm{in}} = 3 + \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 5(\Omega)$$

（3）于是可作出戴维南等效电路，如图 2-28（e）所示。故

$$I_1 = \frac{11 + 11}{5 + R} = \frac{22}{5 + R}(\mathrm{A})$$

又 $U_{ab} = RI_1 - 11 = 0$，所以 $R \cdot \frac{22}{5+R} = 11$，解得 $R = 5(\Omega)$，此时 $I_1 = \frac{22}{5+5} = 2.2(\mathrm{A})$。

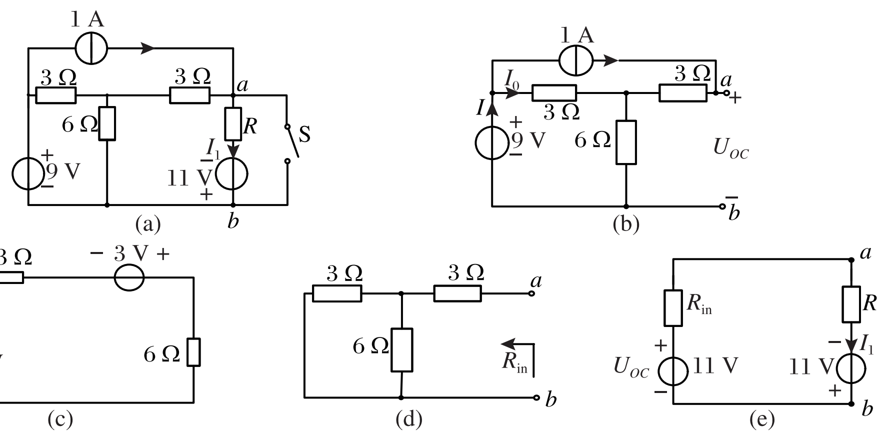


图 2-28

5. 求输入电阻

无独立源一端口网络输入电阻定义：$R_{\mathrm{in}} = \frac{u}{i}$，具体求法见表 2-2。

表 2-2 无独立源一端口网络输入电阻的求法

条　件	方　法	说　明
无受控源	串并联及 Y-△变换方法	无受控源网络也可用外加电源法或开路短路法，但用串并联更简单（需要时先进行△-Y 变换）
含受控源	（1）外加电源法：$R_{\mathrm{in}} = \frac{u}{i}$，$u$、$i$ 为端口电压、电流 （2）开路短路法：$R_{\mathrm{in}} = u_{OC}/i_{SC}$，$u_{OC}$、$i_{SC}$ 为端口开路电压、短路电流	

2-24　求如图 2-29(a)所示电路的输入电阻 R_{in}。

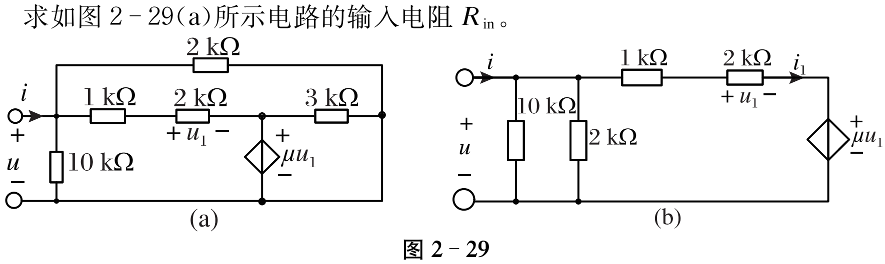


图 2-29

解　在图 2－29(a)所示电路中，3 kΩ 电阻与受控电压源 μu_1 并联，根据等效原理，把 3 kΩ 电阻从电路中断掉，则图 2－29(a)可改画成图 2－29(b)。在图 2－29(b)中，受控电压源 μu_1 与控制量 u_1 在同一支路中，可先求出该支路的输入电阻 R'_{in}。由 KVL，得

$$u = 10^3 i_1 + u_1 + \mu u_1 = 10^3 i_1 + (1+\mu)\times 2\times 10^3 i_1$$

则 $R'_{\text{in}} = \dfrac{u}{i_1} = (3+2\mu)\times 10^3(\Omega)$。

整个电路的输入电阻为

$$R_{\text{in}} = R'_{\text{in}} /\!/ 10\times 10^3 /\!/ 2\times 10^3$$

所以

$$R_{\text{in}} = \frac{10^3}{\dfrac{1}{10}+\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{3+2\mu}} = \frac{5(3+2\mu)}{2(7+3\mu)}(\text{k}\Omega)$$

2－25　求图 2－30(a)电路中入端电阻 R_{ab}。

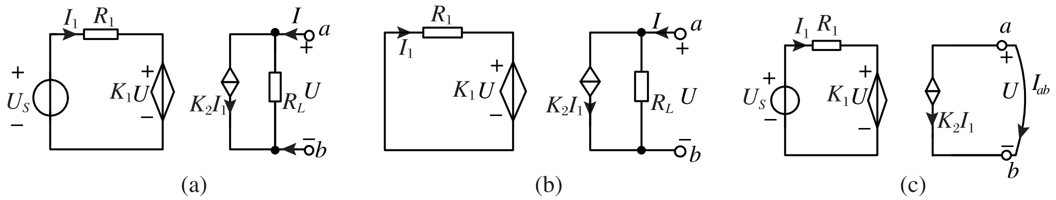


图 2－30

解　设入端电流 I 如图所示，其入端电阻等于独立源均为零时 $\dfrac{U}{I}$ 之值，即 $R_{ab} = \dfrac{U}{I}$。有源二端网络去掉独立电源的电路如图 2－30(b)所示，则有

$$\begin{cases} R_L(I - K_2 I_1) = U \\ I_1 = -\dfrac{K_1 U}{R_1} \end{cases}$$

由此可得

$$U = R_L I - K_2 R_L\left(-\frac{K_1 U}{R_1}\right)$$

$$(R_1 - K_2 K_1 R_L)U = R_1 R_L I$$

$$R_{ab} = \frac{U}{I} = \frac{R_1 R_L}{R_1 - K_1 K_2 R_L}$$

也可用开、短路法求 R_{ab}。求开路电压的电路可参考图 2－30(a)，a、b 间开路时，有

$$U_{OC} = -K_2 I_1 R_L$$

$$I_1 = \frac{U_S - K_1 U_{oc}}{R_1}$$

解出开路电压

$$U_{OC} = \frac{-K_2 R_L U_S}{R_1 - K_1 K_2 R_L}$$

求短路电流 I_{ab} 的电路见图 2－30(c)，有

$$\begin{cases} I_{ab} = -K_2 I_1 \\ I_1 = \dfrac{U_S - K_1 U}{R_1} \\ U = 0 \end{cases}$$

由此解出短路电流

$$I_{ab} = \frac{-K_2 U_S}{R_1}$$

入端电阻为开路电压与短路电流之比：

$$R_{ab}=\frac{U_{OC}}{I_{ab}}=\frac{-K_2R_LU_S}{R_1-K_1K_2R_L}\Big/\frac{-K_2U_S}{R_1}=\frac{R_1R_L}{R_1-K_1K_2R_L}$$

2－26　求如图 2－31(a)所示电路的输入电阻 R_{in}。

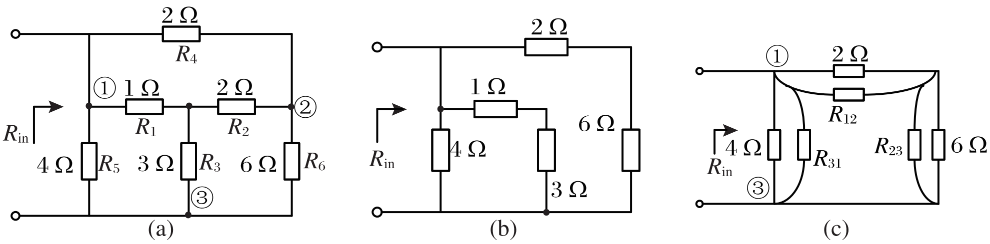


图 2－31

解　方法一：本电路中除 4 Ω 电阻以外，其余 5 个电阻构成电桥电路，恰好又满足平衡条件，所以可以将原电路图简化成图 2－31(b)。对图 2－31(b)，有

$$\frac{1}{R_{in}}=\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}\Rightarrow R_{in}=1.6(\Omega)$$

方法二：若不能识别图中包含平衡电桥电路，或在一般情况下(电桥不满足平衡条件)，可将作 Y 连接的 R_1、R_2 和 R_3 三个电阻变换为△连接，如图 2－31(c)所示，其中

$$R_{12}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{R_3}=\frac{2+6+3}{3}=\frac{11}{3}(\Omega)$$

$$R_{23}=\frac{11}{1}=11(\Omega)$$

$$R_{31}=\frac{11}{2}(\Omega)$$

R_{12}与 2 Ω 电阻元件(R_4)并联的等效电阻设为

$$r_{12}=\frac{R_{12}R_4}{R_{12}+R_4}=\frac{22}{17}(\Omega)$$

R_{23}与 6 Ω 电阻元件(R_6)并联的等效电阻设为

$$r_{23}=\frac{R_{23}R_6}{R_{23}+R_6}=\frac{66}{17}(\Omega)$$

R_{31}与 4 Ω 电阻元件(R_5)并联的等效电阻设为

$$r_{13}=\frac{R_{31}R_5}{R_{31}+R_5}=\frac{44}{19}(\Omega)$$

得

$$R_{in}=\frac{r_{13}(r_{12}+r_{23})}{r_{13}+r_{12}+r_{23}}=1.6(\Omega)$$

要点　这里不宜将作△连接的 R_4、R_5 和 R_6 三个电阻等效为 Y 连接，这是因为在一般情况下，等效以后各个 Y 连接的公共终端点不是等电位点，以致无助于进一步等效简化电路。

2－27　求如图 2－32(a)所示单口网络的输入电阻 R_{in}。

解　根据等效原理将与受控电压源 $2U_1$ 并联的 3 Ω 电阻元件除去，如图 2－32(b)所示。这样，受控电压源 $2U_1$ 与 2 Ω 电阻串联，控制量就在本支路，受控电压源 $2U_1$ 可等效为一个 4 Ω 的电阻，再与 2 Ω 电阻串联，结果等效为 6 Ω 电阻，如图 2－32(c)所示。有

$$\frac{1}{R_{in}}=\frac{1}{6}+\frac{1}{6}+\frac{1}{12}\Rightarrow R_{in}=2.4(\Omega)$$

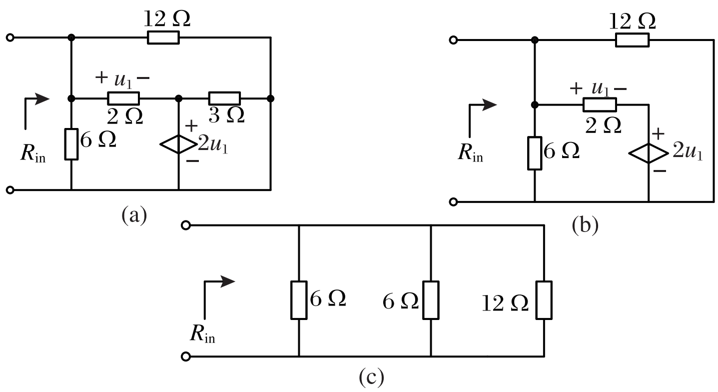


图 2 - 32

6. 对称电路的等效电阻

2 - 28　如图 2 - 33(a)所示立方体的 12 条棱边，均含有 $R=1(\Omega)$ 的热阻丝，试求立方体两对角点间的等效电阻 R_{AG}。

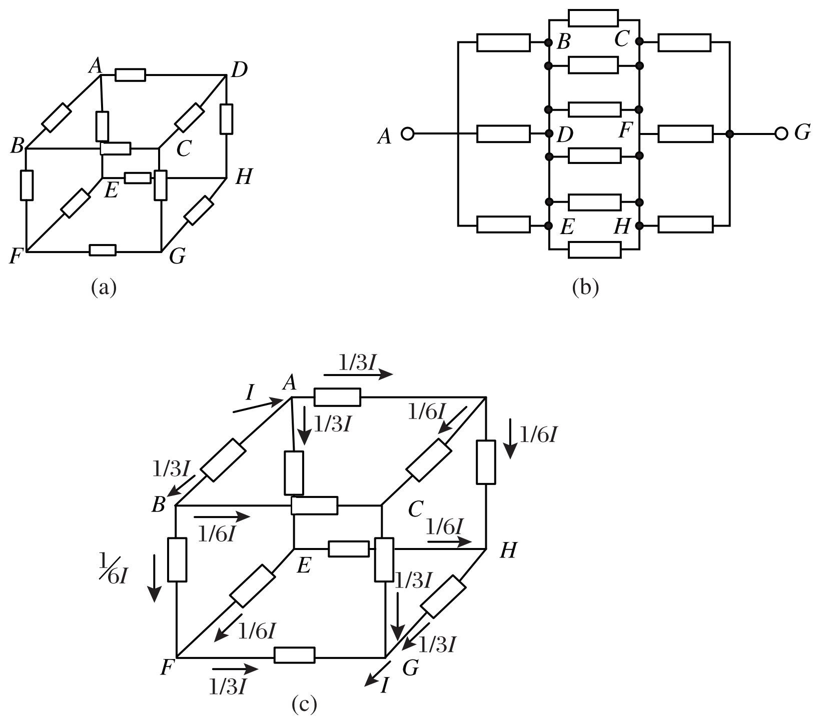


图 2 - 33

解　由所给电路可知，该电路明显具有对称性，因此可用以下方法求解。

方法一：如在图 2 - 33(a)所示电路中的 A、G 两点间外施一电压，则根据所给电路的对称特点(即电路以 AG 为轴线左右对称)，图中 B、D、E 三点电位相等，C、F、H 三点电位相等。等电位点间可以用短路线连接，不改变电路的工作状态。因此用短路线把 B、D、E 三点连接起来，把 C、F、H 三点也连接起来，并改画电路于平面上，可得其等效电路如图 2 - 33(b)所示。由此等效电路可求得立方体两对角点间的等效电阻为

$$R_{AG}=\frac{1}{3}+\frac{1}{6}+\frac{1}{3}=\frac{5}{6}(\Omega)$$

方法二：用电流分布系数法求解。

根据所给电路结构上的对称情况，分析各支路电流的分布如图 2 - 33(c)所示。由图 2 - 33(c)，不难求得

$$U_{AG} = \frac{1}{3}IR + \frac{1}{6}IR + \frac{1}{3}IR = \frac{5}{6}I$$

所以 $R_{AG} = \frac{U_{AG}}{I} = \frac{5}{6}(\Omega)$。

2-29　一电阻网络有 $n+1$ 个节点(编号 $0,1,2,3,\cdots,k,\cdots,n-1,n$),每 2 个节点间有 1 Ω 电阻直接相连,如图 2-34(a)所示,求任意两节点间的等效电阻值。

解　图 2-34(a)所示电路具有传递对称和平衡对称的特点,但其结构特点不明显,哪些是等电位点需要仔细地判定,不可想当然地判定。根据电路结构来判定电路中的等电位点,可采用试探法:将电路中可能是等电位点之间的支路都断开,然后分析一下这些点之间的电压是否为零,若为零,则这些点是等电位点,否则就不是。对于本题,可以设想任取两个节点(如 2、3),在其上施加某一电压,同时把其余节点($4,5,6,\cdots,n,0,1$,共计 $n-1$ 个)之间的支路都断开,仅留下它们与 2、3 节点间的支路,如图 2-34(b)所示。由此图可容易地断定这 $n-1$ 个节点之间的电位差为零,故它们是等电位点。等电位点之间可以短接,也可以断开。如果用短路线把这 $n-1$ 个节点连接为一个节点(如 K),则 K 点与节点 2 或 3 之间都有 $n-1$ 个电阻相并联。由此得任意两节点间的等效电路如图 2-34(c)所示。由此等效电路可求得任意两节点间的等效电阻为

$$R_{eq} = \frac{1 \times \frac{2}{n-1}}{1 + \frac{2}{n-1}} = \frac{2}{n+1}(\Omega)$$

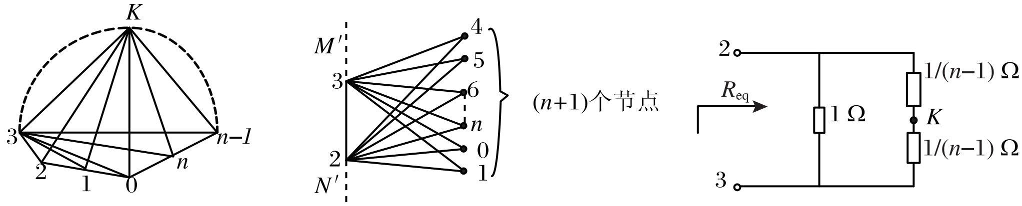


图 2-34

2-30　图 2-35(a)为一无限长梯形电阻网络,串臂电阻均为 2 Ω,并臂电阻均为 1/2 Ω,求入端电阻 R_{in}。

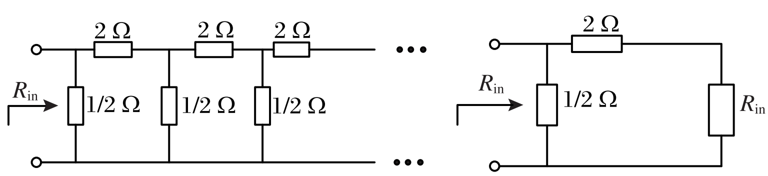


图 2-35

解　根据题意,图 2-35(a)所示的网络是由无限多节倒 L 形网络级联而成的梯形网络。如设网络的入端电阻为 R_{in},则由于该网络是无限长的,有无限多节,去掉一节后,它仍然是无限长,无限多节,因此它的入端电阻仍然是 R_{in}。也就是说,从第二节看进去的入端电阻与从第一节看进去的入端电阻相同,都是 R_{in}。于是得等效电路如图 2-35(b)所示。

由等效电路可列出方程:

$$R_{in} = \frac{\frac{1}{2} \times (2 + R_{in})}{\frac{1}{2} + 2 + R_{in}} = \frac{2 + R_{in}}{5 + 2R_{in}}$$

即

$$R_{in}^2 + 2R_{in} - 1 = 0$$

解方程得

$$R_{in} = -\frac{2}{2} \pm \sqrt{1+1} = -1 \pm \sqrt{2}\ (\Omega)$$

由题设条件知，组成网络的电阻均为正电阻，所以网络的入端电阻 R_{in} 必定为正值，故取 $R_{in} = -1 \pm \sqrt{2} = 0.414(\Omega)$。

7. 对称电路的分析

2-31　图 2-36(a)所示电路中，各电阻均为 1 Ω。若在⓪和①两点间加 1 V 电压，求通过⓪和④点间电阻的电流。

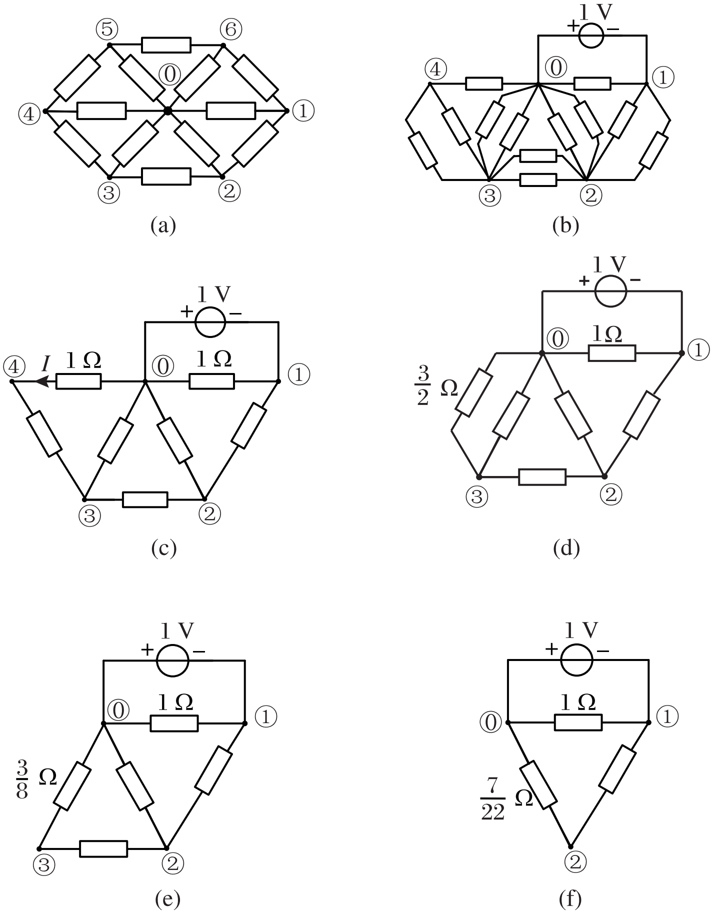


图 2-36

解　由图 2-36(a)电路的对称性可知，在⓪和①两点间加电压时，⑥和②是等位点，⑤和③是等位点。将等位点短接，电路可逐步简化，如图 2-36(b)～(f)所示，图中未标电阻均为 1/2 Ω。

由图 2-36(f)，得

$$U_{02} = \frac{\frac{7}{22}}{\frac{7}{22}+\frac{1}{2}} \times 1 = \frac{7}{18}(\mathrm{V})$$

由图 2-36(e)，得

$$U_{03} = U_{02}\,\frac{\frac{3}{8}}{\frac{3}{8}+\frac{1}{2}} = \frac{7}{18} \times \frac{3}{3+4} = \frac{1}{6}(\mathrm{V})$$

由图 2－36(d)，得

$$I=\frac{U_{03}}{\frac{3}{2}}=\frac{\frac{1}{6}}{\frac{3}{2}}=\frac{1}{9}=0.11(\mathrm{A})$$

此题也可按下列步骤求解。

在图 2－36(c)中，有

$$U_{03}=\left(1+\frac{1}{2}\right)I=\frac{3}{2}I$$

$$I_{03}=\frac{U_{03}}{\frac{1}{2}}=\frac{\frac{3}{2}I}{\frac{1}{2}}=3I$$

$$I_{32}=I_{03}+I=3I+I=4I$$

$$U_{02}=U_{03}+U_{32}=\frac{1}{2}\times I_{03}+\frac{1}{2}\times I_{32}=\frac{1}{2}\times 3I+\frac{1}{2}\times 4I=\frac{7}{2}I$$

$$I_{02}=\frac{U_{02}}{\frac{1}{2}}=\frac{\frac{7}{2}I}{\frac{1}{2}}=7I$$

$$I_{21}=I_{02}+I_{32}=7I+4I=11I$$

$$U_{01}=U_{02}+U_{21}=\frac{1}{2}\times I_{02}+\frac{1}{2}\times I_{21}=\frac{1}{2}\times 7I+\frac{1}{2}\times 11I=9I$$

由已知条件 $U_{01}=1(\mathrm{V})$，有 $9I=1$，即 $I=\frac{1}{9}=0.11(\mathrm{A})$。

2－32　电路如图 2－37(a)所示。当(1) $U_2=U_1=1(\mathrm{V})$；(2) $U_2=-U_1=-1(\mathrm{V})$时，试分别计算两种情况下电流 I_1 的值。

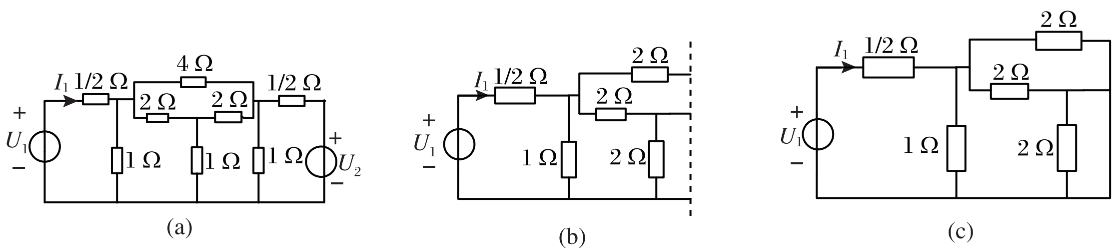


图 2－37

解　由于图 2－37(a)所示电路为一对称二端口网络，外接电源数值相等，故使用中分定理求解比较简单。当 U_1 和 U_2 大小相等、极性相同时，网络在中剖处未交叉的端口应开路(因为由叠加定理知其电流等于零)，而当 U_1 和 U_2 大小相等、极性相反时，网络在中剖处未交叉的端口应短路，分别如图 2－37(b)、(c)所示。

(1) 由于 $U_2=U_1=1(\mathrm{V})$，因此中分后的电路如图 2－37(b)所示。有

$$I_1=\frac{U_1}{0.5+\frac{1\times(2+2)}{1+2+2}}=\frac{1}{0.5+0.8}=0.769(\mathrm{A})$$

此电流即为中分前电路在 $U_2=U_1=1(\mathrm{V})$共同作用下，U_1 支路中的电流 I_1。

(2) 由于 $U_2=-U_1=-1(\mathrm{V})$，因此中分后的电路如图 2－37(c)所示。有

$$I_1 = \frac{U_1}{0.5 + \dfrac{1 \times \dfrac{2 \times 2}{2 + 2}}{1 + \dfrac{2 \times 2}{2 + 2}}} = \frac{1}{0.5 + 0.5} = 1(\mathrm{A})$$

此电流即为中分前电路在 $U_2 = -U_1 = -1(\mathrm{V})$共同作用下流过 U_1 支路的电流 I_1。

2－33　一电路如图 2－38(a)所示，求图中流过各电阻的电流和电阻上消耗的功率，以及各电源供给的功率。

解　由于电路对称，两电源相同，因此可应用中分定理求解。中分后电路如图 2－38(b)所示，有

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + R_5} = \frac{10}{2} = 5(\mathrm{A}),\quad I_1 = 0,\quad I_3 = 0$$

所以各支路电流为

$$I_{E_2} = I_{E_1} = I_2 = I_{R_2} = I_{R_5} = I_{R_4} = I_{R_6} = 5(\mathrm{A})$$

$$I_{R_3} = I_3 = 0$$

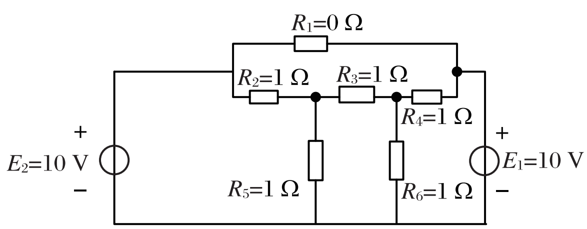
各电阻消耗的总功率为

$$\begin{aligned} P &= R_1 I_{R_1}^2 + R_2 I_{R_2}^2 + R_3 I_{R_3}^2 + R_4 I_{R_4}^2 + R_5 I_{R_5}^2 + R_6 I_{R_6}^2 \\ &= 0 + 1 \times 5^2 + 0 + 1 \times 5^2 + 0 + 1 \times 5^2 + 1 \times 5^2 = 4 \times 5^2 = 100(\mathrm{W}) \end{aligned}$$

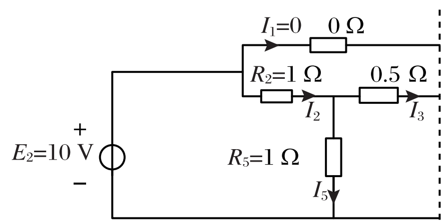
各电路供给的总功率为

$$P_E = P_{E_1} + P_{E_2} = E_1 I_{E_1} + E_2 I_{E_2} = 10 \times 5 + 10 \times 5 = 100(\mathrm{W})$$

由于 $R_1 = 0$，E_1、E_2、R_1 形成一无电阻回路，这一回路可以存在任意大小及方向的电流而不影响电路工作，因而电源 E_1 及 E_2 还可以有任意大小的直接的功率交换。



(a)



(b)

图 2－38