

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套用书

电路原理学习指导 与习题解析

李玉玲 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十五”国家级规划教材配套用书

电路原理学习指导与 习题解析

主 编 李玉玲

参 编 ~~范承志~~ 陈效国

机械工业出版社

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材配套用书，本书内容共分八章：电路基础及直流电路分析，正弦交流电路，非正弦周期电路分析，双口网络，网络的矩阵方程，电路的过渡过程，非线性电路，分布参数电路。各章（节）包括内容提要 and 例题解析两部分，内容提要部分着重对基本知识点的总结归纳，以利于读者掌握基本概念，抓住学习要点。例题解析部分注重对典型例题的分析，并给出详细的解答，有的题目还给出了多种解法，便于拓宽解题思路，巩固学生所学内容，从而提高分析和解决电路问题的能力。

本书特别适合于作为工科电类、信息类本科生学习《电路原理》的辅助教材，也可作为考研的参考教材，对从事电工类课程教学的教师也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理学习指导与习题解析/李玉玲主编. —北京:
机械工业出版社, 2004.7
普通高等教育“十五”国家级规划教材配套用书
ISBN 7-111-14696-4

I. 电… II. 李… III. 电路理论—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 056672 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王保家

责任编辑: 刘丽敏 版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英

封面设计: 姚毅 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8.625 印张·332 千字

定价: 22.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为高校电类专业本科生学习《电路原理》而编写的辅导教材，也可作为研究生入学考试及电路教师的参考教材。

本书编者所在的教研组近年来已编写了五套电路课程的教材（见参考文献），这些教材各具特色，在教学中取得了较好的效果。但与教材相配合的指导书和习题集相对较少，为满足广大电路学习者学好《电路原理》的愿望和要求，特编写了本书。

本书各章节顺序参照浙江大学范承志主编的《电路原理》教材，并根据知识点的需要作了适当的调整。本书各章（节）分内容提要 and 例题解析两部分，每个章节的内容提要部分对本章（节）知识点进行总结归纳，例题解析部分针对内容提要中的知识点给出相应的例题分析和解答。突出基本知识点、基本概念、基本方法的总结和应用是编写本书的初衷，力求内容重点突出、例题针对性强、题型全面。期望读者在使用本书后，对《电路原理》基本知识的理解达到事半功倍的效果。

本书由李玉玲主编，本书在编写过程中得到了浙江大学电气工程学院电工电子教学中心领导和老师们的帮助，并提出了许多宝贵意见，在此谨表示感谢。

限于编者水平，本书在许多方面存在缺点、错误和不足，衷心欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电路基础及直流电路

分析 1

1.1 电路的基本概念及定律 1

1.1.1 内容提要 1

1.1.2 例题解析 3

1.2 电路的等效变换 6

1.2.1 内容提要 6

1.2.2 例题解析 9

1.3 电路的基本分析方法 11

1.3.1 内容提要 11

1.3.2 例题解析 14

1.4 电路的基本定理 21

1.4.1 内容提要 21

1.4.2 例题解析 25

第2章 正弦交流电路 39

2.1 正弦交流电路的稳态

分析 39

2.1.1 内容提要 39

2.1.2 例题解析 41

2.2 谐振电路 55

2.2.1 内容提要 55

2.2.2 例题解析 56

2.3 互感电路 60

2.3.1 内容提要 60

2.3.2 例题解析 61

2.4 三相电路 68

2.4.1 内容提要 68

2.4.2 例题解析 69

第3章 非正弦周期电路

分析 77

3.1 非正弦周期电路的稳态

计算 77

3.1.1 内容提要 77

3.1.2 例题解析 79

3.2 对称三相电路中的高次

谐波 92

3.2.1 内容提要 92

3.2.2 例题解析 93

第4章 双口网络 97

4.1 双口网络的方程和参数 97

4.1.1 内容提要 97

4.1.2 例题解析 98

4.2 双口网络的等效电路和

联接 105

4.2.1 内容提要 105

4.2.2 例题解析 107

4.3 理想运算放大器和回转器 117

4.3.1 内容提要 117

4.3.2 例题解析 119

第5章 网络的矩阵方程 124

5.1 基本矩阵及其关系、矩阵形式

的基本定律 124

5.1.1 内容提要	124	8.1 内容提要	215
5.1.2 例题解析	125	8.2 例题解析	217
5.2 矩阵形式的节点电压 方程	127	附录	224
5.2.1 内容提要	127	附录 A	224
5.2.2 例题解析	129	自测题 1	224
5.3 回路电流方程及割集电压 方程	139	自测题 2	227
5.3.1 内容提要	139	附录 B	230
5.3.2 例题解析	140	自测题 1 解答	230
第 6 章 电路的过渡过程	146	自测题 2 解答	236
6.1 换路定则和初始条件	146	附录 C	245
6.1.1 内容提要	146	浙江大学 2002 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题	245
6.1.2 例题解析	146	浙江大学 2003 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题	247
6.2 电路过渡过程的求解	151	浙江大学 2004 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题	249
6.2.1 内容提要	151	附录 D	253
6.2.2 例题解析	158	2002 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题参考答案	253
6.3 状态方程	198	浙江大学 2003 年硕士学位 研究生入学考试试题 参考答案	259
6.3.1 内容提要	198	浙江大学 2004 年攻读硕士学位 研究生入学考试试题答案	264
6.3.2 例题解析	199	参考文献	268
第 7 章 非线性电路	205		
7.1 内容提要	205		
7.2 例题解析	207		
第 8 章 分布参数电路	215		

第 1 章 电路基础及直流电路分析

1.1 电路的基本概念及定律

1.1.1 内容提要

1. 电路元件

(1) 电阻元件 线性电阻元件的符号如图 1-1 所示, 当电压 U 和电流 I 参考方向一致时, 满足欧姆定律

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = \frac{1}{R}U = GU$$

式中, G 是电导, $G = \frac{1}{R}$, 单位是西门子 (简称为 S)

电阻消耗的功率

$$P = UI = I^2R = GU^2$$

功率的单位是瓦特 (W)。

电阻元件的单位是欧姆(Ω), 常用的单位还有千欧($k\Omega$) ($1k\Omega = 10^3\Omega$)、兆欧 ($1M\Omega = 10^6\Omega$)。

(2) 理想电压源 (U_s) 又称为恒压源 (定压源), 常用的符号如图 1-2 所示。本书采用图 a 符号, 其中 U_s 表示电压源大小, 正负号表示电压源极性。

理想电压源有三个特点:

1) 理想电压源电压恒定, 电流随外电路的改变而改变。

2) 理想电压源电压为零 ($U_s = 0$) 时, 相当于短路线。

3) 理想电压源的内阻很小, 近似为零。

注意: 理想电压源不能短路。

(3) 理想电流源 又称为恒流源, 常用的符号如图 1-3 所示, 本书采用图 a 符号, 其中 I_s 表示电流源大小, 箭头表示电流源方向。

理想电流源有三个特点:

1) 理想电流源电流恒定, 电压随外电路的改变而改变。

2) 理想电流源电流为零 ($I_s = 0$) 时, 相当于开路线。

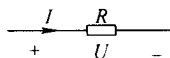


图 1-1

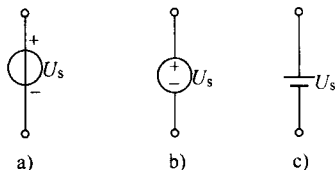


图 1-2

2 电路原理学习指导与习题解析

3) 理想电流源的内阻很大, 近似为无穷。

注意: 理想电流源不能开路。

理想电压源和理想电流源又分别称作独立电压源和独立电流源。

(4) 受控源 受控源的电压(或电流)受电路中别的支路电压(或电流)控制。受控源可分为四种, 即电压控制电压源、电压控制电流源、电流控制电压源和电流控制电流源, 分别用 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 表示。图 1-4 所示为四种受控源的符号图, 其中 K_G 、 K_U 、 K_R 、 K_I 为控制系数, 它们具有不同的量纲。

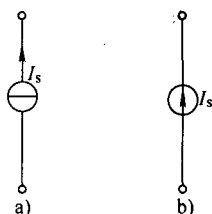


图 1-3

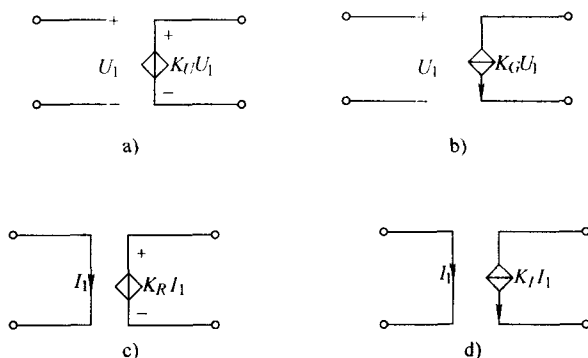


图 1-4

需要指出的是: 由于受控源的电压(或电流)受电路中别的支路电压(或电流)控制, 因此当电路中无独立电压源或电流源时, 电路不能产生响应。

2. 电压、电流的参考方向、功率

(1) 电压、电流的参考方向 在电路分析、计算中, 必须对每一元件假定一个电压、电流方向, 这就是电压、电流的参考方向。常用的电流的参考方向表示法有两种, 如图 1-5 所示, 均表示电流由 A 流向 B。



图 1-5

常用的电压参考方向表示如图 1-6 所示, 均表示电压降落的方向是从 A 到 B。

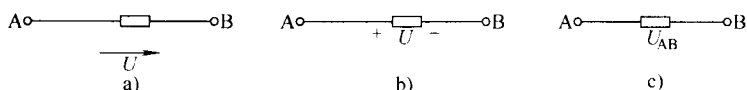


图 1-6

参考方向的假定是任意的，但是一旦选定后，在分析过程中就不再改变。当计算出的电压、电流值为负时，表示其实际方向与参考方向相反。

(2) 功率 直流电路中某元件的功率

$$P = UI$$

当某元件的 U 、 I 参考方向一致时，若 $P > 0$ ，它吸收功率，若 $P < 0$ ，它发出功率；相反，如果某元件的 U 、 I 参考方向不一致时，若 $P > 0$ ，它发出功率，若 $P < 0$ ，它吸收功率。

3. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律(KCL) 基尔霍夫电流定律(KCL)反映会聚于任一节点的电流关系，即流入(或流出)任一节点的电流的代数和为零，写成

$$\sum I = 0$$

在列该方程时，若选取流出节点的电流为正，则流入节点的电流为负。

基尔霍夫定律也可适用于任一闭合面。

(2) 基尔霍夫电压定律(KVL) 基尔霍夫电压定律(KVL)反映了组成任一回路的各电压的约束关系，即环绕任一回路的电压代数和为零，写成

$$\sum U = 0$$

其中电压的正负号根据电压方向和回路绕向而定，方向一致者取正号，不一致取负号。

根据基尔霍夫电压定律还可推出以下两个结论：

- 1) 任两点间的电位差是确定的，与路径无关。
- 2) 沿电路任一回路电阻上电压降的代数和等于该回路电压源电动势的代数和，即

$$\sum IR = \sum E$$

各项正负号规定为：当支路电流与回路绕向一致时， RI 前取正号，否则取负号；当电动势方向(从负极到正极)与回路绕向一致时， E 前取正号，否则取负号。

基尔霍夫定律是电路最基本的定律，对时变的、非线性的电路均能适用。

1.1.2 例题解析

例 1-1 电路如图 1-7 所示，试求图中 4A 电流源上的电压及功率。

解 对 a 点，利用 KCL，得

4 电路原理学习指导与习题解析

$$I_1 = 2\text{A} + 4\text{A} = 6\text{A}$$

$$U_{ab} = I_1 \times 1 = 6\text{V}$$

又两点之间电压与路径无关, 对 a、b 两点来说

$$U_{ab} = 6\text{V} = 2 \times (-4)\text{V} + U_{4\text{A}}$$

$$\text{所以 } U_{4\text{A}} = 14\text{V}$$

$$P = U_{4\text{A}} \times 4\text{A} = 56\text{W}$$

对 4A 电流源, 电流方向与电压方向不一致, 且 $P > 0$, 故发出功率。

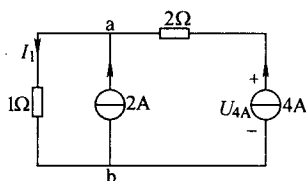


图 1-7

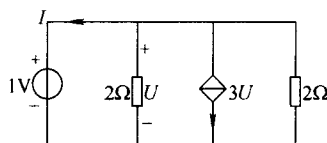


图 1-8

例 1-2 电路如图 1-8 所示, 试求图中 1V 电压源流过的电流 I 及 $3U$ 受控电流源的功率, 并验证功率守恒。

解 由图 1-8 知 $U = 1\text{V}$, 所以

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{2\Omega} = 0.5\text{A} \quad (\text{图 1-9})$$

$$I = -(I_1 + I_2 + 3S \times U)$$

$$= -4\text{A}$$

$$P_{1\text{V}} = 1 \times (-4)\text{W} = -4\text{W} < 0$$

但 1V 与 I 方向一致, $P < 0$, 发出功率。

$$P_{3U} = 3U \times 1\text{A} = 3\text{W} > 0$$

其电压电流方向一致, 吸收功率。

$$P_{2\Omega} = I_1^2 \times 2\Omega + I_2^2 \times 2\Omega = 1\text{W} > 0, \text{吸收功率。}$$

故 $P_{\text{发出}} = P_{\text{吸收}}$, 功率守恒。

例 1-3 电路如图 1-10 所示, 已知 $I_1 = 2\text{A}$, $K_U = 4$, $K_R = 0.5\Omega$, 求电流 I_3 和电压 U_{ab} , U_{ac} 。

解 欲求 I_3 , 要知道受控源 $K_R I_2$, 而 I_2 受 $K_U U_1$ 影响, U_1 从最左边电路求得

$$U_1 = -2I_1 + 6\text{V} = 2\text{V}, \quad K_U U_1 = 4 \times 2\text{V} = 8\text{V}$$

$$I_2 = \frac{K_U U_1}{1} = 8\text{A}, \quad I_3 = -K_R I_2 = -0.5 \times 8\text{A} = -4\text{A}$$

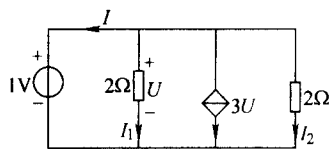


图 1-9

又 $U_{a0} = U_1 = 2V$, $U_{b0} = K_U U_1 = 8V$, $U_{c0} = 10\Omega \times I_3 = 10 \times (-4)V = -40V$

所以 $U_{ab} = U_{a0} - U_{b0} = -6V$

$U_{ac} = U_{a0} - U_{c0} = 42V$

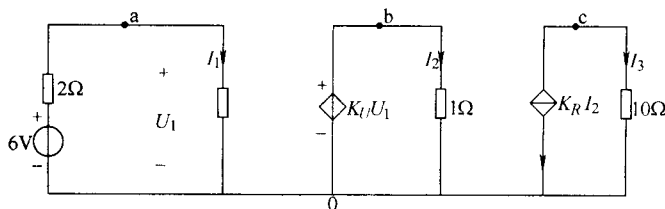


图 1-10

例 1-4 图 1-11 所示电路, $I_{s1} = 0.5A$, $I_{s2} = 1A$, 控制系数 $r = 10\Omega$, 电阻 $R = 50\Omega$, 方框内为任意电路 (设不短路), 试求电流 I 。

解 要求 I , 需知道 R 上的电流, 而 R 上电流 (设方向向下为 I_R) 需通过 rI_1 计算, I_1 又是 I_{s1} 支路电流。

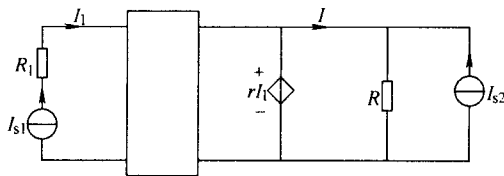
$$I_1 = I_{s1} = 0.5A$$

$$rI_1 = 10 \times 0.5V = 5V$$

$$I_R = \frac{rI_1}{R} = \frac{5}{50}A = 0.1A$$

$$I = I_R - I_{s2} = 0.1A - 1A = -0.9A$$

图 1-11



例 1-5 图 1-12 所示电路, 已知 $I_1 = 4A$, $I_2 = 2A$, 试求 E_2 上的电流 I , 并求 E_1 、 E_2 的值。

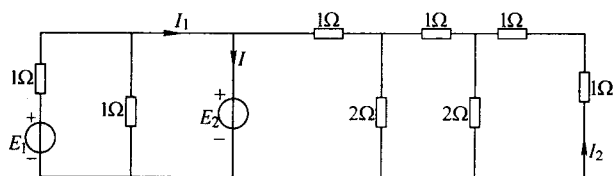


图 1-12

解 观察图 1-12 所示电路, E_2 右端的电路中, 电阻串并联可从右向左逐步化简, 如图 1-13 所示。

I_2 与 I_3 分别为 ef 点之间并联的两支路电流, 且两条支路电阻相等, 均为 2Ω 。所以 $I_3 = I_2 = 2A$, 则 $I_4 = I_3 + I_2 = 4A$ 。

$$R_{ef} = 1\Omega \quad R_{cf} = 2\Omega$$

所以

$$I_5 = I_4 = 4A \quad I_6 = I_4 + I_5 = 8A$$

6 电路原理学习指导与习题解析

故

$$I = I_1 + I_6 = 4 + 8 = 12\text{A}$$

$$E_2 = -I_6 \times 1\Omega - I_5 \times 2\Omega = -16\text{V}$$

$$I_7 = \frac{E_2}{1\Omega} = -16\text{A}$$

$$I_8 = I_1 + I_7 = -12\text{A}$$

$$E_2 = -I_8 \times 1\Omega + E_1$$

得

$$E_1 = E_2 + I_8 \times 1\Omega = -28\text{V}$$

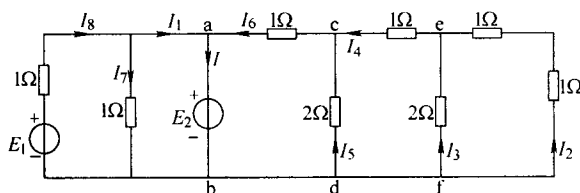


图 1-13

1.2 电路的等效变换

1.2.1 内容提要

1. 理想电源的串、并联等效变换

所谓等效，就是电路变换前后，其端口上电压、电流的关系（称为伏安特性或外特性）不变。

(1) n 个电压源串联等效为一个电压源，如图 1-14 所示。

$$U_s = U_{s1} + U_{s2} + \cdots + U_{sn} = \sum_{K=1}^n U_{sK}$$

(2) 电压源与电阻并联等效为电压源，如图 1-15 所示。

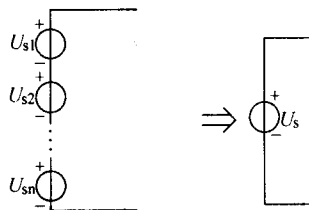


图 1-14



图 1-15

(3) 只有电压相等的电压源才允许并联，如图 1-16 所示。

$$U_s = U_{s1} = U_{s2}$$

(4) 电压源与电流源并联等效为电压源，如图 1-17 所示。

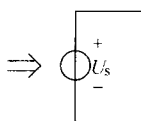
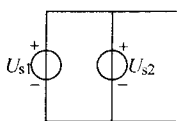


图 1-16

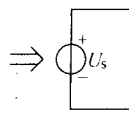
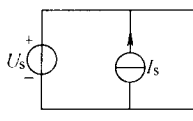


图 1-17

(5) n 个电流源并联等效为一个电流源, 如图 1-18 所示。

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} + \cdots + I_{sn} = \sum_{K=1}^n I_{sK}$$

(6) 电流源与电阻串联等效为电流源, 如图 1-19 所示。

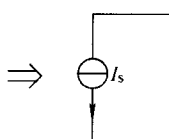
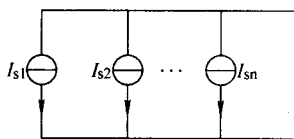


图 1-18

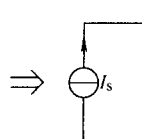
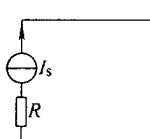


图 1-19

(7) 电流源与电压源串联等效为电流源, 如图 1-20 所示。

(8) 只有两个电流相等的电流源才可以串联, 如图 1-21 所示。

$$I_{s1} = I_{s2} = I_s$$

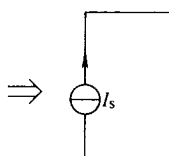
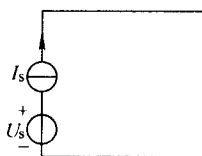


图 1-20

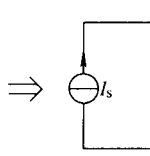
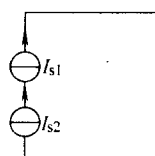


图 1-21

2. 实际电压源和电流源的等效变换

电压源与电阻串联等效为电流源和电阻并联, 如图 1-22 所示, 且满足关系

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}$$

$$R_d = R_0$$

注意电压源与电流源的方向。

3. 无源一端口网络的等效变换

无源一端口网络可以等效为一个电阻 R_0 , 如图 1-23。

$$R_0 = R_{in} = \frac{U}{I}$$

8 电路原理学习指导与习题解析

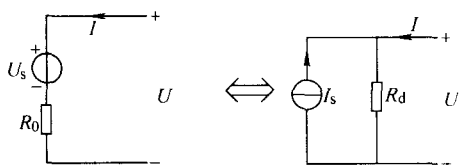


图 1-22

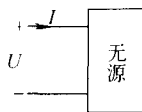


图 1-23

(1) 当一端口网络由纯电阻构成时, 根据电路特点可分为以下几种情况:

1) 电阻简单串、并联, 可按电阻串并联公式直接求出。

2) 电阻的连接具有对称结构时, 可根据等电位点将电路化简, 再求等效电阻。

3) 对于平衡电桥的电路, 利用平衡电桥的特点化简。

4) 具有 Y— Δ 结构的电路, 利用 Y $\leftrightarrow\Delta$ 变换公式化简、计算。

一般形式:

$$\begin{aligned} \Delta \rightarrow Y \\ R_1 &= \frac{R_{31}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_2 &= \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \\ R_3 &= \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \end{aligned}$$

当 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta}$ 时, $R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta}$

$$\begin{aligned} Y \rightarrow \Delta \\ R_{12} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} \\ R_{23} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1} \\ R_{31} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} \end{aligned}$$

当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$ 时, $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta} = 3R_Y$

(2) 当一端口网络内部含有受控源时, 可以采用加压法求得。其方法是在端口处加电压 U , 求出端口的电流 I , 再求比值 $R_m = \frac{U}{I}$ (注意 U, I 的方向), 如图 1-24 所示 (P 代表任意无源网络)。

该方法也同样适用于纯电阻构成的一端口网络。

4. 无源多端网络的等效变换

对于 n 端星形电路 ($n > 3$), 变换为网形电路, 则任意节点 k 和 j 之间的电导:

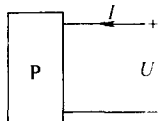


图 1-24

$$G_{kj} = \frac{G_k G_j}{\sum G} \quad k \neq j$$

式中, G_k 、 G_j 分别为第 k 支路和第 j 支路的电导。

$$\sum G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

1.2.2 例题解析

例 1-6 如图 1-25 所示电路, 求电流 I 。

解 根据有理想电源的串并联等效电路, 图 1-25 可等效为图 1-26。

由图 1-26 可得

$$I = -7\text{A}$$

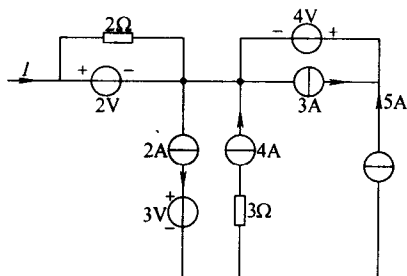


图 1-25

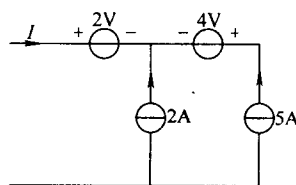


图 1-26

例 1-7 如图 1-27 所示电路, 求电流 $I = ?$

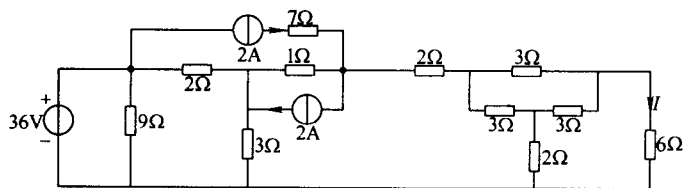


图 1-27

解 根据电路的等效原则。将图 1-27 等效为图 1-28。

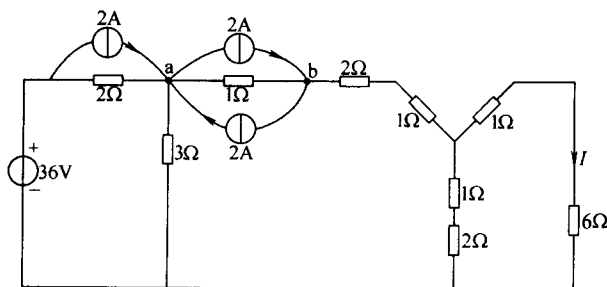


图 1-28

10 电路原理学习指导与习题解析

对于图 1-28 中的节点 a 和节点 b。分别有 2A 的电流流入和流出，可以相互抵消（和为 0），因此电路图 1-28 进一步等效为图 1-29。

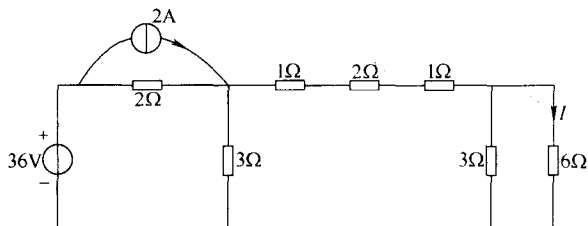


图 1-29

将电流源与电阻并联等效为电压源与电阻串联，并进行化简计算得 $I = \frac{10}{9} \text{A}$ 。

例 1-8 如图 1-30 所示电路，试求 AB 端口向右的等效电阻。

解 根据电路结构特点，将图 1-30 等效为图 1-31。

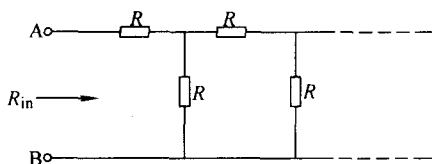


图 1-30

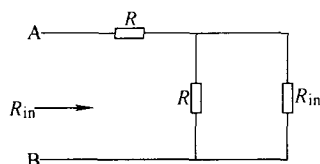


图 1-31

$$R_{in} = R + R // R_{in} = R + \frac{RR_{in}}{R + R_{in}}$$

解得 $R_{in} = 1.62R$

例 1-9 如图 1-32 所示，试求电桥平衡条件。

解 将图 1-32 中接地的电导连于一点，电路等效为图 1-33。

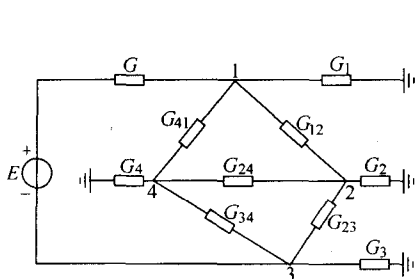


图 1-32

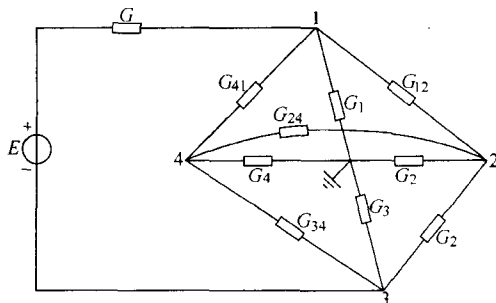


图 1-33

将 G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_4 组成的星形电路变换为网形, 如图 1-34 所示。其中

$$G'_{12} = \frac{G_1 G_2}{\Sigma G} = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}$$

$$G'_{23} = \frac{G_2 G_3}{\Sigma G}$$

$$G'_{24} = \frac{G_2 G_4}{\Sigma G}$$

$$G'_{31} = \frac{G_3 G_1}{\Sigma G} \quad G'_{14} = \frac{G_1 G_4}{\Sigma G} \quad G'_{34} = \frac{G_3 G_4}{\Sigma G}$$

图 1-34 中电桥平衡, 需满足

$$(G_{12} + G'_{12})(G_{34} + G'_{34}) = (G_{23} + G'_{23})(G_{41} + G'_{41})$$

代入 G'_{12} 、 G'_{34} 、 G'_{23} 、 G'_{41} 得

$$(G_1 G_2 + G_{12} \Sigma G)(G_3 G_4 + G_{34} \Sigma G) = (G_2 G_3 + G_{23} \Sigma G)(G_4 G_1 + G_{41} \Sigma G)$$

例 1-10 电路如图 1-35 所示, 求入端等效电阻 R_{in} 。

解 根据 KCL 和 KVL 可列出方程如下:

$$U = 3I + 8I_1$$

$$U = 4 \times (I - I_1) + 3I_1$$

解以上两个方程, 得

$$I = 9I_1$$

$$U = 3I + 8I_1 = 3 \times 9I_1 + 8I_1 = 35I_1$$

故

$$R_{in} = \frac{U}{I} = \frac{35I_1}{9I_1} \Omega = \frac{35}{9} \Omega$$

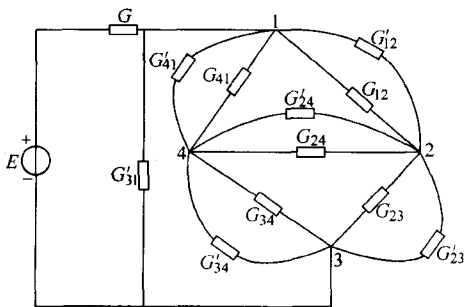


图 1-34

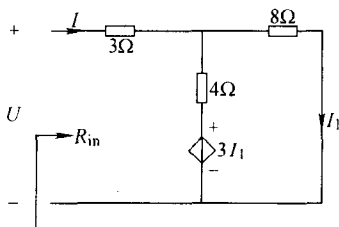


图 1-35

1.3 电路的基本分析方法

1.3.1 内容提要

1. 网络图论的基本概念