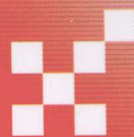




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电路原理

学习指导与习题解析

● 李玉玲 主编

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路原理学习指导与 习题解析

第 2 版

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“十一五”国家级规划教材，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、非线性电路和分布参数电路。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《电路原理第3版》（ISBN 978-7-111-28632-5）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. —2版.
—北京：机械工业出版社，2010.5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-30468-5

I. ①电… II. ①李… III. ①电路理论—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第071866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

责任校对：李锦莉 封面设计：张 静

责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年7月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·15.75印张·384千字

标准书号：ISBN 978-7-111-30468-5

定价：27.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：（010）88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：（010）68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：（010）88379649

读者服务部：（010）68993821

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5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）分内容摘要和例题解析两部分，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，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 5

1.2.1 内容提要 5

1.2.2 例题解析 8

1.3 电路的基本分析方法 10

1.3.1 内容提要 10

1.3.2 例题解析 12

1.4 电路的基本定理 19

1.4.1 内容提要 19

1.4.2 例题解析 22

第2章 正弦交流电路 37

2.1 正弦交流电路的稳态

分析 37

2.1.1 内容提要 37

2.1.2 例题解析 39

2.2 谐振电路 52

2.2.1 内容提要 52

2.2.2 例题解析 53

2.3 互感电路 56

2.3.1 内容提要 56

2.3.2 例题解析 58

2.4 三相电路 64

2.4.1 内容提要 64

2.4.2 例题解析 65

第3章 非正弦周期电路

分析 72

3.1 非正弦周期电路的稳态

计算 72

3.1.1 内容提要 72

3.1.2 例题解析 74

3.2 对称三相电路中的高次

谐波 86

3.2.1 内容提要 86

3.2.2 例题解析 87

第4章 双口网络 90

4.1 双口网络的方程和参数 90

4.1.1 内容提要 90

4.1.2 例题解析 91

4.2 双口网络的等效电路和

连接 97

4.2.1 内容提要 97

4.2.2 例题解析 99

4.3 理想运算放大器和回转器 108

4.3.1 内容提要 108

4.3.2 例题解析 109

第5章 网络的矩阵方程 114

5.1 基本矩阵及其关系、矩阵形式

的基本定律 114

5.1.1 内容提要 114

5.1.2 例题解析 115

5.2 矩阵形式的节点电压

方程 117

5.2.1 内容提要 117

5.2.2 例题解析 119

5.3 回路电流方程及割集电压

方程 128

5.3.1 内容提要 128

5.3.2 例题解析 129

第6章 电路的过渡过程 134

6.1 换路定则和初始条件 134

6.1.1 内容提要 134

6.1.2 例题解析	134	自测题 1 解答	208
6.2 电路过渡过程的求解	138	自测题 2 解答	215
6.2.1 内容提要	138	附录 C	222
6.2.2 例题解析	144	浙江大学 2002 年攻读硕士学位	
6.3 状态方程	179	研究生入学考试试题	222
6.3.1 内容提要	179	浙江大学 2003 年攻读硕士学位	
6.3.2 例题解析	180	研究生入学考试试题	224
第 7 章 非线性电路	186	浙江大学 2004 年攻读硕士学位	
7.1 内容提要	186	研究生入学考试试题	226
7.2 例题解析	187	附录 D	228
第 8 章 分布参数电路	195	浙江大学 2002 年攻读硕士学位研究生	
8.1 内容提要	195	入学考试试题参考答案	228
8.2 例题解析	197	浙江大学 2003 年攻读硕士学位	
附录	203	研究生入学考试试题	
附录 A	203	参考答案	234
自测题 1	203	浙江大学 2004 年攻读硕士学位	
自测题 2	205	研究生入学考试试题参考答案	238
附录 B	208	参考文献	243

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）。

U 、 I 参考方向一致时，电阻消耗的功率

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

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 ）

理想电压源又称为恒压源（定压源），常用的符号如图 1-2 所示。本书采用图 1-2a 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 3 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) 理想电压源的内阻很小，近似为零。
- 3) 理想电压源电压为零（ $U_s = 0$ ）时，相当于短路线。

注意：理想电压源不能短路。

(3) 理想电流源

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 1-3a 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 3 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) 理想电流源的内阻很大，近似为无穷。
- 3) 理想电流源电流为零（ $I_s = 0$ ）时，相当于开路线。

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

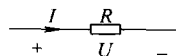


图 1-1

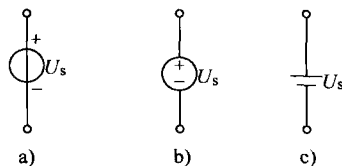


图 1-2

2 电路原理学习指导与习题解析

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 4 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。

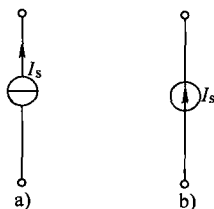


图 1-3

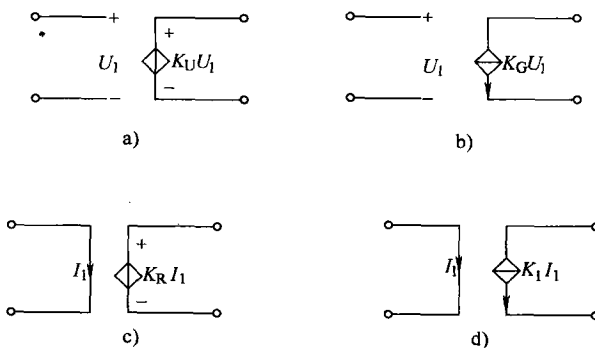


图 1-4

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、电流为正的方向，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。

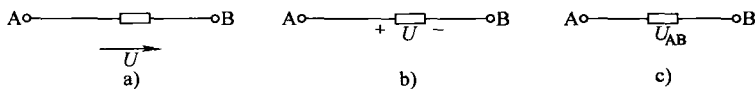


图 1-6

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)反映汇聚于任一节点各电流的约束关系, 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。

基尔霍夫电流定律也适用于任一闭合面。

(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的参考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压的代数和, 即

$$\sum IR = \sum U_s$$

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; 当电压方向(从正极到负极)与回路绕向相反时, U_s 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

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

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

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。

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 3V 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

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

$$\begin{aligned} I &= -(I_1 + I_2 + 3S \times U) \\ &= -4\text{A} \end{aligned}$$

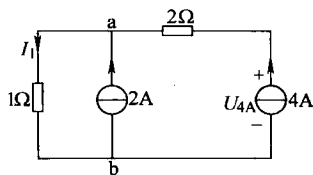


图 1-7

4 电路原理学习指导与习题解析

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

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。

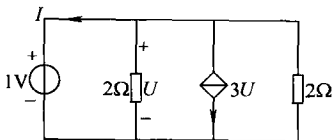


图 1-8

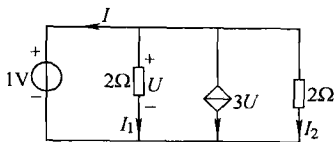


图 1-9

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

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

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

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

所以 $U_{ab} = U_{a0} - U_{b0} = -6 \text{ V}$

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

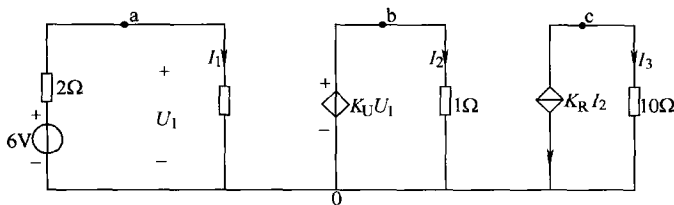


图 1-10

例 1-4 图 1-11 所示电路, $I_{s1} = 0.5 \text{ A}$, $I_{s2} = 1 \text{ A}$, 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。

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

$$rI_1 = 10 \times 0.5 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

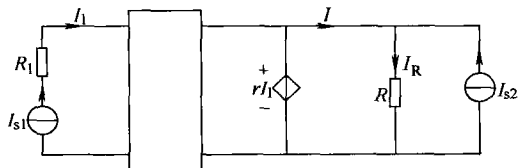


图 1-11

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

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

值。

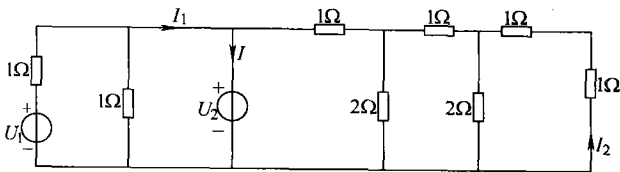


图 1-12

1-13 所示。

$I_2 = 2\text{A}$, 则 $I_4 = I_3 + I_2 = 4\text{A}$ 。

所以
故

$$\begin{aligned} R_{\text{ef}} &= 1\Omega & R_{\text{ef}} &= 2\Omega \\ I_5 &= I_4 = 4\text{A} & I_6 &= I_4 + I_5 = 8\text{A} \\ I &= I_1 + I_6 = 4 + 8 = 12\text{A} \\ U_2 &= -I_6 \times 1\Omega - I_5 \times 2\Omega = -16\text{V} \end{aligned}$$

$$I_7 = \frac{U_2}{1\Omega} = -16\text{A}$$

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

$$U_2 = -I_8 \times 1\Omega + U_1$$

得

$$U_1 = U_2 + I_8 \times 1\Omega = -28\text{V}$$

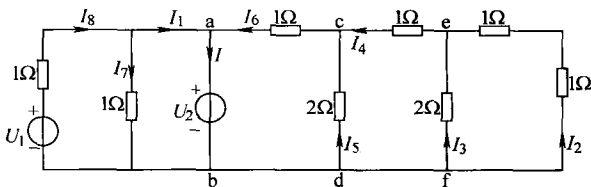


图 1-13

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

不变。

1) n 个电压源串联等效为一个电压源, 如图 1-14 所示。

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

2) 电压源与电阻并联等效为电压源, 如图 1-15 所示。

6 电路原理学习指导与习题解析

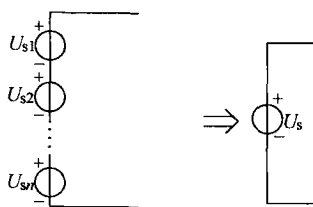


图 1-14

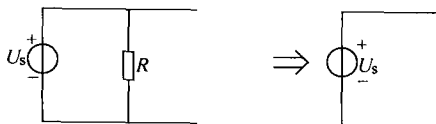


图 1-15

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。

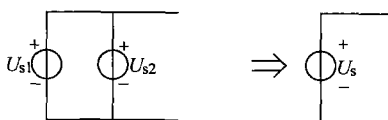


图 1-16

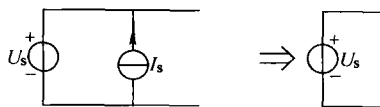


图 1-17

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。

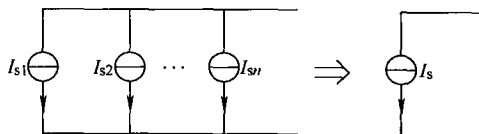


图 1-18

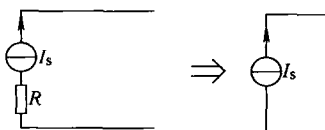


图 1-19

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。

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

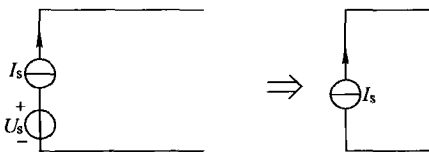


图 1-20

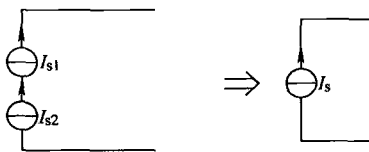


图 1-21

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 所示。

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

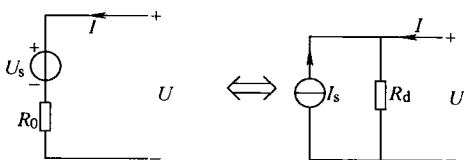


图 1-22

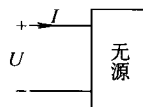


图 1-23

(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

$\Delta \rightarrow Y$

$$R_1 = \frac{R_{31} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

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

$Y \rightarrow \Delta$

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

$$R_{31} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_2}$$

8 电路原理学习指导与习题解析

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 $R_{in} = \frac{U}{I}$ (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。

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

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

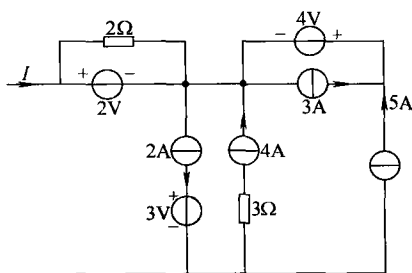


图 1-25

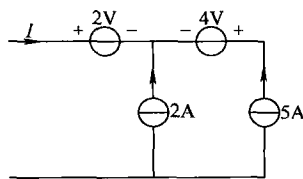


图 1-26

例 1-7 如图 1-27 所示电路, 求电流 I 。

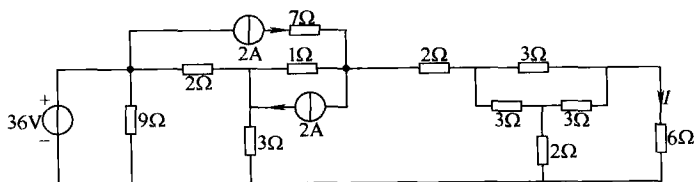


图 1-27

解 根据电路的等效原则。将图 1-27 等效为图 1-28。

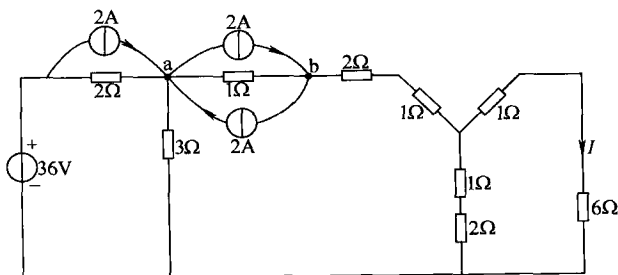


图 1-28

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。

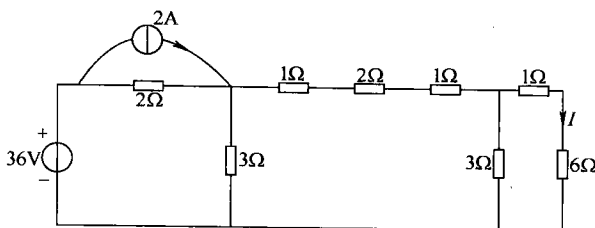


图 1-29

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。

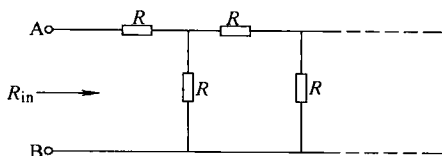


图 1-30

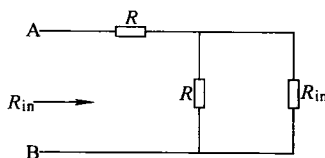


图 1-31

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

解得 $R_{in} = 1.62R$ 。

例 1-9 图 1-32 所示电路中, 各电阻值如图 1-32 所示, 试求电阻 R_{ab} 。

解 先将图 1-32 中最右边的 Δ 接电路转化为 Y 接, 并整理得图 1-33, 由平衡电桥, 得图 1-34 (de 端开路)。可求得:

$$R_{ab} = 3\Omega + 5\Omega + 9 // 72 // 72 = 15.2\Omega$$

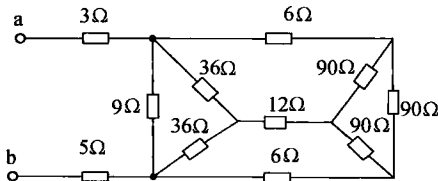


图 1-32

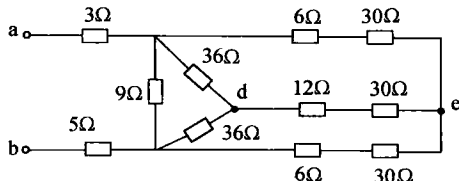


图 1-33

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:

$$U = 3I + 8I_1$$

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

解以上两个方程, 得

$$I = \frac{9}{4}I_1$$

$$U = 3I + 8I_1 = 3 \times \frac{9}{4}I_1 + 8I_1 = \frac{59}{4}I_1$$

故

$$R_{in} = \frac{U}{I} = \frac{\frac{59}{4}I_1}{\frac{9}{4}I_1} \Omega = \frac{59}{9}\Omega$$

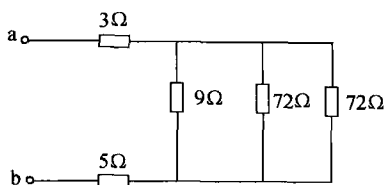


图 1-34

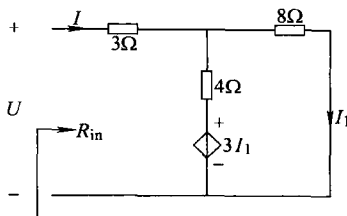


图 1-35

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

(1) 拓扑图(图)

拓扑图(图)是节点和支路的集合。图只反映电路的拓扑信息,不考虑元件。

(2) 子图

子图是原拓扑图的一部分,包括原图的一些支路和节点。

(3) 有向图

图的每条支路都被标有一个方向,则为有向图。

(4) 连通图

图中任意两节点之间至少有一条通路。

(5) 树

树是连通图的一个子图,满足以下3个条件:

1) 树是连通的。

2) 包含图的全部节点。

3) 不包含回路。

(6) 树支

树支组成树的各支路。

连支:不在树上的其他支路。

设一个连通图的节点数为 n_t , 支路数为 b , 则有

$$\text{树支数 } n = \text{独立节点数} = n_t - 1$$

$$\text{连支数 } l = \text{支路数} - \text{树支数} = b - (n_t - 1)$$

只含一个连支的回路,称为单连支回路,也称为基本回路。

(7) 割集

连通图的一个子图, 满足两个条件:

- 1) 移去该子集的全部支路, 连通图分为两个独立部分。
- 2) 少移去其中任一条支路时, 图仍保持连通。

(8) 单树支割集

单树支割集又称基本割集, 是只含一条树支的割集。

2. 电路分析的基本方法

电路分析的基本方法可分为3种: 支路电流法、回路电流法和节点电压法。

(1) 支路电流法

以支路电流为变量, 建立方程, 求解各支路电流的方法。

设网络中有 n_t 个节点, b 条支路, 取支路电流为未知量的列方程步骤为:

- 1) 由 KCL 对 $n_t - 1$ 个独立节点列独立方程, $\sum I = 0$ 。
- 2) 选取 $(b - n_t + 1)$ 个独立回路 (或基本回路), 指定回路绕行方向, 由 KVL, 列 $b - n_t + 1$ 个独立方程, $\sum U = 0$ 。
- 3) 由上述 b 个线性方程, 解出 b 条支路电流。

注意, 对于含电流源的支路, 该支路电流已知, 不必对该支路所在的基本回路列 KVL 方程, 则方程数可减少。

(2) 回路电流法

回路电流法的基本思想是以独立回路 (或基本回路) 的回路电流为求解变量, 对每一独立回路列写 KVL 方程, 由这些方程解出各回路电流, 然后再求出各支路电流。

回路电流的方程数就等于独立回路数 (连支数) $b - n_t + 1$ 个。

回路电流法的步骤:

- 1) 选回路。先选一个树, 确定各连支, 选定单连支回路。如电路中含电流源, 最好将电流源选为连支, 可使方程简化。
- 2) 任意假定连支电流的参考方向, 确定基本回路, 使回路电流方向与连支电流方向一致。
- 3) 回路电流方程的一般形式:

具有 n 个节点, b 条支路的一般电路, 可以列 $b - n + 1$ 个基本回路电流方程, 第 i 个回路的回路电流方程可表示为:

$$R_{i1}I_{i1} + \cdots + R_{ij}I_{ij} + \cdots + R_{ik}I_{ik} + \cdots = \sum_i U_i$$

式中, I_{i1} 、 I_{i2} 、 $\cdots$ 、 I_{ik} 为回路电流; R_{ii} 为回路 i 的自电阻, 即回路 i 所包含的所有电阻之和, 恒为正; R_{ij} 为回路 i 、 j 之间的互电阻, 即回路 i 、 j 的公共电阻之和, 若回路 i 、 j 流过公共电阻时的方向一致, 互电阻为正, 反之, 互电阻为负; $\sum_i U_i$ 是回路 i 所包含的所有电压源电压的代数和, 当电压源方向与回路绕向一致时, 为负, 不一致时, 则为正。

- 4) 解回路方程, 求得各回路电流, 再求其他量。

网孔电流法是回路电流法的特殊形式。在平面网络中, 当选定的回路内部没有任何支路时, 即为网孔, 网孔是特殊的回路。

选回路时, 也可以不利用网络图论的知识, 而直接采用观察法, 只要所选定的每一回路都包含有一条别的回路所没有的新支路, 则所选定的回路就是独立的。事实上, 对于较简单