

普通高等院校

电子信息类系列教材

DianGong DianZi
YiNan ZhiDao Yu XiTi QuanJie

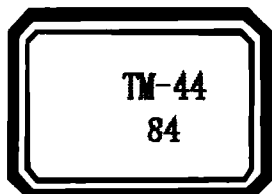
电工电子 疑难指导与习题全解

◎ 黄元峰 刘晓静 高玉良 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

44
1



普通高等院校电子信息类系列教材

电工电子疑难指导与习题全解

黄元峰 刘晓静 高玉良 主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子疑难指导与习题全解 / 黄元峰, 刘晓静, 高玉良
主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.11
普通高等院校电子信息类系列教材
ISBN 978-7-115-18026-1

I. 电… II. ①黄…②刘…③高… III. ①电工技术—高等学校—教学参考资料②电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 121494 号

内 容 提 要

本书为《电工电子》一书的配套辅导教材, 是根据电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会拟定的“电工电子技术”课程教学基本要求, 结合编者多年教学、科研实践经验而编写的, 以帮助读者更好地学习和掌握本课程内容。

本书按照《电工电子》的章节顺序编写。每章包括本章概要、学习目标、疑难指导、典型例题解析以及与教材配套的习题全解, 并在各章配有一套自测题供学生自查。

本书可作为高等学校非电类各专业本科生“电工电子技术”课程配套的学习指导和参考用书, 也可供其他相关专业人员参考使用。

普通高等院校电子信息类系列教材 电工电子疑难指导与习题全解

-
- ◆ 主 编 黄元峰 刘晓静 高玉良
责任编辑 滑 玉
执行编辑 张 鑫
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京世纪雨田印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.75
字数: 310 千字 2008 年 11 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2008 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18026-1/TN

定价: 23.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

本书为《电工电子》一书的配套辅导教材，是为帮助读者更好地学习和掌握本课程内容而编写的。各章内容均分为以下6部分。

第一部分为本章概要。简要回顾《电工电子》一书中各章所讲的主要内容和知识要点，并进行归纳和总结，以便学生掌握要点，明确学习内容和重要概念。

第二部分为学习目标。用了解、理解和掌握3个层次描述了学习本章后学生对所学知识应达到的认知程度。

第三部分为疑难指导。疑难指导着重对重点、难点和容易出错的地方作了深入阐述，既有利于学生加深对该部分内容的理解和拓宽视野，又可供复习查证。

第四部分为典型例题解析。该部分是针对各章的一些基础知识、重点内容和难点问题而给出的一些经典例题及其解题的思路与方法，是对所学知识作进一步探讨，以巩固已学知识。

第五部分为习题全解。该部分对教材中的每道习题都作了详细解答。

第六部分为自测题。每章配有一套自测题和答案，以方便学生自查，检验学习效果。

本书由武汉工程大学、湖北工业大学和长江大学三所院校的老师共同编写，由黄元峰、刘晓静、高玉良任主编，徐元中、林双喜、蔡文君任副主编。徐元中、刘晓静、刘建平编写第1~4章，常秀莲、高玉良、杨友平编写第6~8章，林双喜、李继林、蔡文君编写第5、9、10章，黄元峰编写第11、12章。

湖北工业大学吴麟章教授对本书进行了认真的审阅，并提出了宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中疏漏和错误之处在所难免，希望广大读者提出宝贵意见，以便今后修改和提高。

编 者

2008年6月

目 录

第1章 电路的基本定律与基本分析方法	1	3.3.5 $t \rightarrow \infty$ 时的电路	31
1.1 本章概要	1	3.3.6 时间常数 τ	31
1.2 学习目标	1	3.3.7 零输入响应	31
1.3 疑难指导	1	3.3.8 零状态响应	32
1.3.1 电路元件	1	3.3.9 全响应	32
1.3.2 电路中常用的物理量	2	3.3.10 能量转换的时间	32
1.3.3 基尔霍夫定律	2	3.3.11 过电流和过电压	32
1.3.4 电压源和电流源的等效 变换	3	3.3.12 各种暂态响应	32
1.3.5 叠加原理	3	3.3.13 三要素法则	33
1.3.6 结点电压法	3	3.4 典型例题解析	33
1.3.7 应用戴维南定理求解	4	3.5 习题全解	39
1.4 典型例题解析	4	3.6 自测题	48
1.5 习题全解	10	第4章 三相电路	51
1.6 自测题	14	4.1 本章概要	51
第2章 正弦交流电路	17	4.2 学习目标	51
2.1 本章概要	17	4.3 疑难指导	51
2.2 学习目标	17	4.3.1 三相对称电源	51
2.3 疑难指导	17	4.3.2 三相对称电源的工作 特征	51
2.3.1 正弦交流电的三要素	17	4.3.3 三相电源的相序	52
2.3.2 相量表示法	18	4.3.4 三相对称负载	53
2.3.3 交流电路中的电路元件	18	4.3.5 对称三相电路的工作 特征	53
2.3.4 R、L、C 串联交流 电路	18	4.3.6 三相不对称负载	53
2.3.5 串联等效阻抗和并联等效 阻抗	19	4.3.7 不对称三相电路的工作 特征	54
2.3.6 交流电路的功率	19	4.3.8 工农业用电负载	55
2.3.7 功率因数	19	4.3.9 民用电负载	56
2.4 典型例题解析	20	4.4 典型例题解析	56
2.5 习题全解	23	4.5 习题全解	60
2.6 自测题	28	4.6 自测题	68
第3章 线性电路的暂态分析	30	第5章 磁路及基本应用	70
3.1 本章概要	30	5.1 本章概要	70
3.2 学习目标	30	5.2 学习目标	70
3.3 疑难指导	30	5.3 疑难指导	70
3.3.1 暂态过程	30	5.3.1 磁路的基本概念	70
3.3.2 换路定则	30	5.3.2 变压器	71
3.3.3 $t=0_-$ 时的电路	30	5.3.3 电动机	72
3.3.4 $t=0_+$ 时的电路	31	5.4 典型例题解析	75

5.5	习题全解	80	9.3.4	MOS 门电路	140
5.6	自测题	85	9.3.5	逻辑代数的基本定律	141
第 6 章	半导体二极管与直流稳压电源	88	9.3.6	组合逻辑电路的分析与设计	141
6.1	本章概要	88	9.3.7	常用的组合逻辑电路	141
6.2	学习目标	88	9.4	典型例题解析	142
6.3	疑难指导	88	9.5	习题全解	146
6.4	典型例题解析	89	9.6	自测题	156
6.5	习题全解	93	第 10 章	触发器和时序逻辑电路	159
6.6	自测题	96	10.1	本章概要	159
第 7 章	三极管与交流放大电路	99	10.2	学习目标	159
7.1	本章概要	99	10.3	疑难指导	160
7.2	学习目标	99	10.3.1	触发器	160
7.3	疑难指导	99	10.3.2	寄存器	161
7.4	典型例题解析	103	10.3.3	计数器	162
7.5	习题全解	108	10.3.4	555 定时器	163
7.6	自测题	117	10.4	典型例题解析	164
第 8 章	集成运算放大电路及其应用	120	10.5	习题全解	167
8.1	本章概要	120	10.6	自测题	178
8.2	学习目标	120	第 11 章	存储器和可编程逻辑器件	180
8.3	疑难指导	120	11.1	本章概要	180
8.3.1	集成运算放大电路	120	11.2	学习目标	180
8.3.2	反馈的概念和分类	121	11.3	疑难指导	180
8.3.3	负反馈对放大电路性能的影响	121	11.3.1	存储器的分类	180
8.3.4	基本运算电路	121	11.3.2	只读存储器 (ROM)	181
8.3.5	滤波电路	122	11.3.3	随机存储器 (RAM)	181
8.3.6	电压比较器	122	11.3.4	SPLD 的四种类型及结构特点	181
8.3.7	RC 正弦振荡电路	122	11.4	典型例题解析	182
8.3.8	非正弦振荡电路	122	11.5	习题全解	185
8.4	典型例题解析	125	11.6	自测题	190
8.5	习题全解	129	第 12 章	数/模和模/数转换技术	192
8.6	自测题	135	12.1	本章概要	192
第 9 章	门电路和组合逻辑电路	138	12.2	学习目标	192
9.1	本章概要	138	12.3	疑难指导	192
9.2	学习目标	139	12.3.1	数/模转换器	192
9.3	疑难指导	139	12.3.2	模/数转换器	193
9.3.1	数字电路的特点	139	12.4	典型例题解析	193
9.3.2	分立元件门电路	139	12.5	习题全解	195
9.3.3	TTL 集成门电路	139	12.6	自测题	197

第1章 电路的基本定律与基本分析方法

1.1 本章概要

本章主要介绍电路的基本物理量、基本定律、基本分析方法等内容，这些都是学好电工电子技术的基础。首先，介绍了电路的组成和作用、电路的主要物理量和参考方向以及电路的元件（包括电路的有源元件，如电压源、电流源及受控源；无源元件，如电阻器、电感器和电容器），以及电路的3种基本工作状态（有载、开路、短路）和电路中电位的概念及电位的计算。其次，介绍了电路的两条基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是本章的重点之一，它具有普遍的适用性，适用于由各种不同元件构成的电路中任一瞬间、任何波形的电压和电流的求解。最后，着重介绍线性电路的一般分析方法。电路的结构形式是多种多样的，对于简单电路，可用串联、并联等效变换和电源的等效变换方法化简成单回路进行分析和计算；对于复杂电路，介绍了一般分析方法和一些基本的、常用的法则和定理，如支路电流法、结点电压法、叠加原理、戴维南定理、诺顿定理及非线性电阻电路的图解法。

1.2 学习目标

1. 理解电路模型及理想电路元件（电阻器、电感器、电容器、电压源和电流源）的电压和电流关系。
2. 理解电压、电流参考方向的意义。
3. 理解电源的有载工作，开路与短路状态；了解电功率和额定值的意义。
4. 理解并能正确运用基尔霍夫定律。
5. 理解电路中电压和电位的概念，掌握分析与计算电路中各点电位的方法。
6. 了解受控源和非线性电阻电路及其图解法。
7. 掌握串联、并联电阻的等效变换，特别是串联电阻的分压公式及并联电阻分流公式。掌握电压源与电流源进行等效变换的方法，应特别注意，等效是对外电路而言的，对内部电路并不等效。
8. 了解支路电流法，理解叠加原理和结点电压法。
9. 掌握运用戴维南定理分析电路的方法。

1.3 疑难指导

1.3.1 电路元件

电路元件分为有源元件（电压源、电流源）和无源元件（电阻器、电感器、电容器）两类。电压源和电流源为电路提供电压、电流和功率。在无源电路元件中，电阻器是耗能元件，而电感器和电容器是储能元件，与电源之间有能量的互换。

理解并掌握理想电路元件的伏安特性是分析和计算电路的基础。

1. 电阻元件

$$u = Ri \quad (\text{在关联参考方向下})$$

2. 电感元件

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (\text{在关联参考方向下})$$

3. 电容元件

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (\text{在关联参考方向下})$$

4. 电压源

$$u = u_s \quad (u \text{ 为任意值})$$

5. 电流源

$$i = i_s \quad (i \text{ 为任意值})$$

1.3.2 电路中常用的物理量

在电路中，常用到电压、电流、电动势和功率等物理量。物理上这样规定电流、电压和电动势的实际方向：电流的实际方向为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向；电压的实际方向为由高电位（“+”极性）端指向低电位（“-”极性）端，即电位降低的方向；电源电动势的实际方向为在电源内部由低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，即电位升高的方向。但是，电路中电流和电压的方向是未知的，也可能是随时间变化的。因此，在分析与计算电路时，常可任意选定某一方向作为电流或电压的参考方向，或称为正方向。所选的参考方向不一定与实际方向一致。当所选的参考方向与电流或电压的实际方向一致时，则电流或电压为正值；反之，则为负值。

在分析与计算电路时，必须首先标定电压、电流、电动势的参考方向（也称正方向），再对电路进行计算，这样得到的数值的正、负才有意义。在规定参考方向的条件下，电路的功率有正有负。功率为正，表明电路消耗功率；功率为负，表明电路发出功率。

1.3.3 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律，是本章的重点之一。它具有普遍的适用性，适用于由各种不同元件构成的电路中任一瞬间、任一波形的电压和电流的计算。学习时注意理解该定律的内容、表达公式和推广应用。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

(1) 定律内容：在电路的任一结点上，同一瞬间电流的代数和为零。

(2) 表达公式：若规定流入结点的电流取正值，流出结点的电流取负值，则

$$\text{在任意波形电路中 } \sum i = 0;$$

$$\text{在稳态直流电路中 } \sum I = 0。$$

(3) 推广应用：任何假定的闭合面中 $\sum i = 0$ 。

(4) KCL 是针对独立结点或独立闭合面的。

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

(1) 定律内容: 在电路的任一回路中, 同一瞬间电压的代数和为零。

(2) 表达式: 若规定电压、电流和电动势的参考方向与所选回路方向一致时取正值, 否则取负值, 则

在任意波形电路中 $\sum u = 0$;

在稳态直流电路中 $\sum U = 0$;

含电动势的电路中 $\sum RI = \sum E$, $\sum U = \sum E$, $\sum U + \sum RI = \sum E$ 。

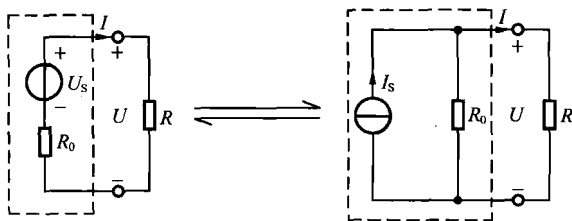
在应用后 3 个公式时, 应注意将 $\sum U$ 、 $\sum RI$ 与 $\sum E$ 分别放在等式的两边, 等式左边表示的是电位降的代数和, 等式右边表示的是电位升的代数和。

(3) 推广应用: 任何一段电路中 $\sum u = 0$ 。从闭合回路到开路, 仍有 $\sum u = 0$ 。

(4) KVL 是针对独立回路的。

1.3.4 电压源和电流源的等效变换

在分析电路时, 对电压源串联支路与电流源并联支路进行等效变换, 往往可使电路简化。等效变换的条件是电源对外等效, 即电源外特性 $U=f(I)$ 不变, 保持输出电压 U 与输出电流 I 不变。等效变换的方法如图 1-3-1 所示。



其中, $U_s = R_0 I_s$ 且 R_0 不变

图 1-3-1

注意: 理想电压源与理想电流源之间不能等效变换, 因为它们无法满足对外等效的条件。

1.3.5 叠加原理

叠加原理阐明了线性电路的两个重要性质, 即比例性和叠加性。运用叠加原理求解电路时应注意以下几个问题。

(1) 叠加原理只适用于线性电路, 不适用于非线性电路。

(2) 计算时要正确处理不作用的电源, 即恒压源或电动势用导线短接, 恒流源开路, 内阻保留, 电路结构不变。

(3) 叠加原理中的电量 (电压和电流) 应是代数值的叠加, 注意分量与总量的方向是否一致。

(4) 叠加原理只能用来分析和计算电流和电压, 不能用来计算功率。

1.3.6 结点电压法

结点电压法特别适合求解支路多、结点少的电路。它的实质是 KCL 应用结点电压法一般先

确定一个参考结点，其余各结点到参考结点的电压称为该点的结点电压，然后以各独立结点电压为电路的变量，应用 KCL，列出各独立结点（除参考结点外）的 $\sum i = 0$ 方程，最后求解出各结点的电压。列写方程时需注意电流源与电阻串联支路的处理方法。

1.3.7 应用戴维南定理求解

任何电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型。戴维南定理说明，一个含源二端网络可以用一个电压源等效代替，等效的条件是对外等效。戴维南定理是重点，但不是难点，它把一个有源的二端网络用一个电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联的电压源来等效代替，关键是要计算 E 和 R_0 。应用戴维南定理求解电路时通常有下面几个步骤。

- (1) 将所求解的支路从原电路中分出并断开，得到一个开路的有源二端网络。
- (2) 求有源二端网络的开路电压 $U_0 = E$ 。
- (3) 求有源二端网络的等效电阻 R_0 ，其方法是将有源二端网络中的理想电压源短路，理想电流源开路，然后求其等效内阻 R_0 。
- (4) 将等效后的模型与待求支路画在一个电路中，求解待求支路的电流和电压。

1.4 典型例题解析

【例 1-1】 求图 1-4-1 所示电路中的电流 I_2 。

解 本题练习应用 KCL 求解电路中的电流。在列写 KCL 电流方程时，应注意 KCL 既适用于某个结点，也适用于广义结点，即任意一个假想的闭合面。

解法 1：根据 KCL 先对结点 1 列写结点电流方程

$$4 - 6 - I_1 = 0$$

得 $I_1 = -2\text{A}$

再对结点 2 列写结点电流方程

$$5 + 3 + I_1 - I_2 = 0$$

得 $I_2 = 6\text{A}$

解法 2：将图 1-4-1 虚线围成的闭合面视为一个结点，该结点电流方程为

$$4 + 5 + 3 - 6 - I_2 = 0$$

得 $I_2 = 6\text{A}$

【例 1-2】 电路如图 1-4-2 (a) 所示，试画出以地为参考点的完整电路，并计算点 A 的电位。

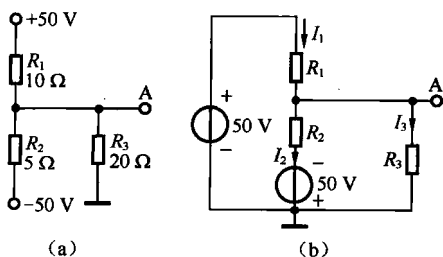


图 1-4-2

解 本题是电位的计算。图 1-4-2 (a) 是用电位的形式标示的电路。如果不熟悉这种画法，分析电路时可把电路还原成完整的画法，即把标有电位的悬空端与参考点之间接一理想电压源，其极性和数值与原来标示的电位值一致。图 1-4-2 (a) 的电路可画成图 1-4-2 (b) 所示的完整电路。

设电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图 1-4-2 (b) 所示，由 KCL 可得

$$I_1 = I_2 + I_3$$

而
得
则

$$I_1 = \frac{50 - V_A}{10}, I_2 = \frac{V_A - (-50)}{5}, I_3 = \frac{V_A}{20}$$

$$\frac{50 - V_A}{10} = \frac{V_A + 50}{5} + \frac{V_A}{20}$$

$$V_A = -14.3\text{V}$$

由此可知，电位的引入给电路的分析和计算带来了很大的方便，而且电位的计算是与路径无关的。

【例 1-3】 对于图 1-4-3 (a) 所示电路，计算 a、b 间的等效电阻 R_{ab} ，并求电流 I 和 I_6 。

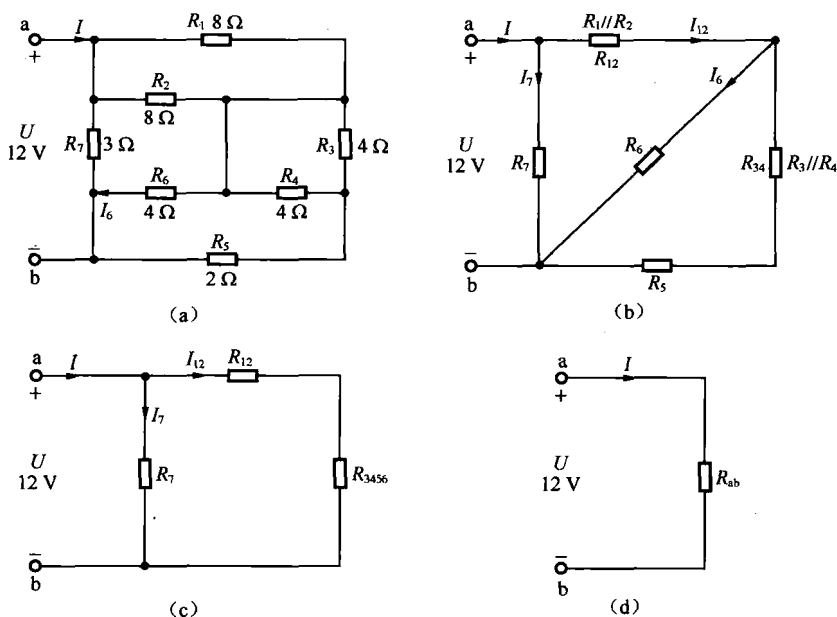


图 1-4-3

解 (1) 对于比较复杂的混联电阻电路，计算其等效电阻的方法大致可以分成以下几步：

- ① 将所有用纯导线连接的点各自归结为同一结点；
- ② 在不改变电路连接关系的前提下，可根据需要改画电路，以便更清楚地表示出各电阻的串并联关系；
- ③ 采用逐步化简的方法，按照顺序简化电路，最后计算出等效电阻。

在图 1-4-3 (a) 所示电路中， R_1 与 R_2 并联，得 $R_{12} = 4\Omega$ ； R_3 与 R_4 并联，得 $R_{34} = 2\Omega$ ，因而简化为如图 1-4-3 (b) 所示的电路，在该电路中， R_{34} 与 R_5 串联，而后再与 R_6 并联，得 $R_{3456} = 2\Omega$ ，再简化为如图 1-4-3 (c) 的电路。在图 1-4-3 (c) 中， R_{3456} 与 R_{12} 串联，而后再与 R_7 并联，最后简化为如图 1-4-3 (d) 所示的电路，可得等效电阻 R_{ab} 为

$$R_{ab} = \frac{(2+4) \times 3}{2+4+3} \Omega = 2\Omega$$

(2) 根据图 1-4-3 (d) 可得电流 I 为

$$I = \frac{U}{R_{ab}} = \frac{12}{2} \text{A} = 6\text{A}$$

(3) 在图 1-4-3 (c) 中，应用分流公式可得电流 I_{12} 为

$$I_{12} = I \times \frac{R_7}{R_7 + R_{12} + R_{3456}} = 6 \times \frac{3}{3+4+2} \text{A} = 2\text{A}$$

在图 1-4-3 (b) 中, 应用分流公式可得电流 I_6 为

$$I_6 = I_{12} \times \frac{R_5 + R_{34}}{R_6 + R_{34} + R_5} = 2 \times \frac{2 \times 2}{4 + 2 + 2} \text{A} = 1 \text{A}$$

【例 1-4】 试用电压源和电流源变换的方法计算图 1-4-4 (a) 所示电路中 ab 支路的电流 I 。

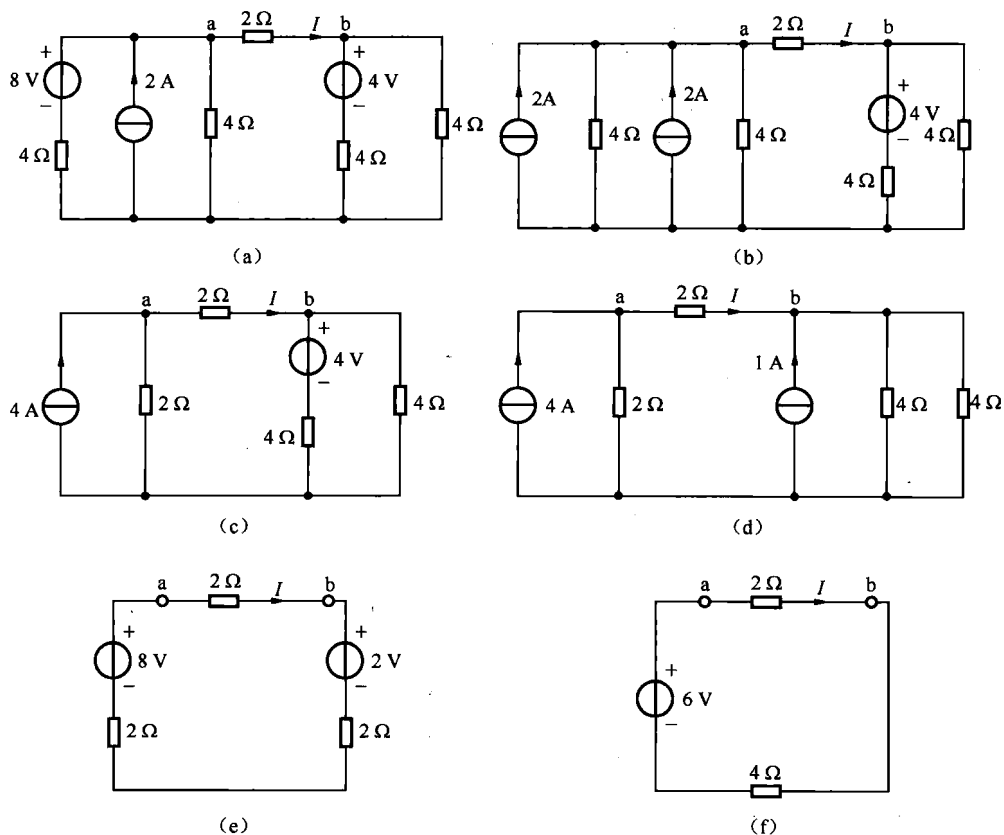


图 1-4-4

解 等效变换过程如图 1-4-4 所示, 最后化简为图 1-4-4 (f) 所示的电路, 由此可知电流 I 为

$$I = \frac{6}{2+4} \text{A} = 1 \text{A}$$

【例 1-5】 用叠加原理求图 1-4-5 (a) 所示电路中的 U_{ab} 。

解 先把图 1-4-5 (a) 分解成图 (b) 和图 (c) 所示的电源单独作用的电路, 然后按下列步骤进行计算。

(1) 当电压源单独作用时, 如图 1-4-5 (b) 所示。

$$U'_{ab} = \frac{\frac{(1+2) \times 3}{1+2 \times 3}}{3 + \frac{(1+2) \times 3}{1+2+3}} \times 9\text{V} = \frac{1.3}{3+1.5} \times 9\text{V} = 3\text{V}$$

(2) 当电流源单独作用时, 如图 1-4-5 (c) 所示。

$$I''_2 = \frac{2}{2+1 + \frac{3 \times 3}{3+3}} \times I_s = \frac{2}{4.5} \times 9\text{A} = 4\text{A}$$

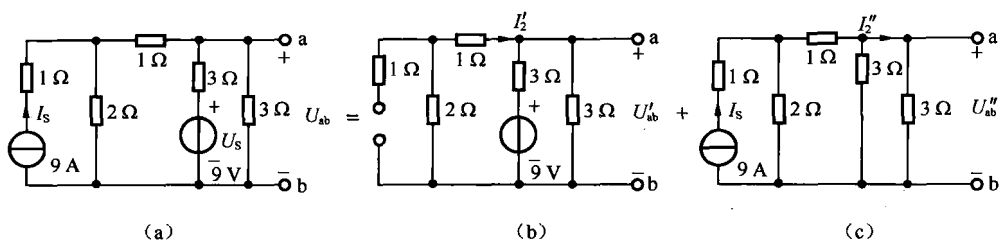


图 1-4-5

$$U''_{ab} = \frac{3 \times 3}{3 + 3} I_2'' = 1.5 \times 4V = 6V$$

(3) 当两个电源共同作用时，有

$$U_{ab} = U'_{ab} + U''_{ab} = (3 + 6)V = 9V$$

【例 1-6】 用戴维南定理计算图 1-4-6 (a) 所示电路中的电流 I 。

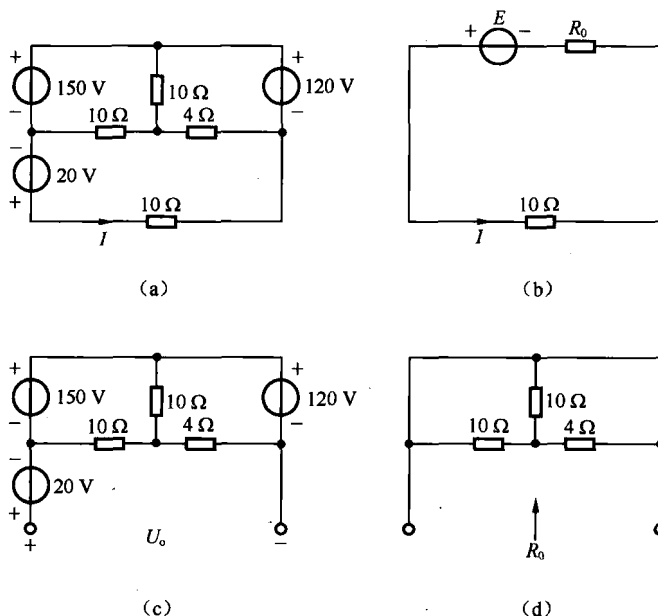


图 1-4-6

解 (1) 用戴维南定理将图 1-4-6 (a) 化简成等效电源，如图 1-4-6 (b) 所示。

(2) 由图 1-4-6 (c) 计算等效电源的电动势 E ，即开路电压 U_0 为

$$U_0 = E = (20 - 150 + 120)V = -10V$$

由图 1-4-6 (d) 计算等效电源的内阻 R_0 为

$$R_0 = 0$$

(3) 由图 1-4-6 (b) 计算电流 I 为

$$I = \frac{E}{R_0 + 10} = \frac{-10}{10} A = -1A$$

【例 1-7】 电路如图 1-4-7 (a) 所示，当 $R=4\Omega$ 时， $I=2A$ 。求当 $R=9\Omega$ 时， I 等于多少？

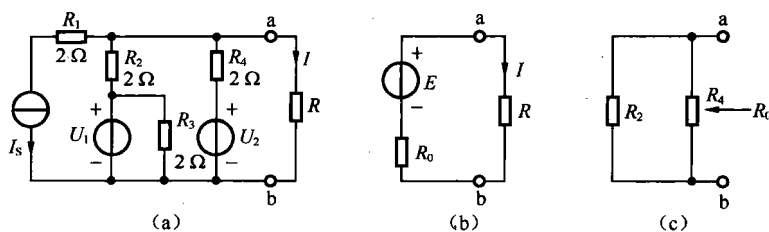


图 1-4-7

解 把电路 ab 以左部分等效为一个电压源，如图 1-4-7 (b) 所示，则得

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

R_0 由图 1-4-7 (c) 求出，即

$$R_0 = R_2 // R_4 = 1\Omega$$

所以

$$E = (R_0 + R)I = (1 + 4) \times 2V = 10V$$

当 $R=9\Omega$ 时，有

$$I = \frac{10}{1+9}A = 1A$$

【例 1-8】 分别求图 1-4-8 (a) 所示电路的恒流源与电阻器并联的等效电路和图 1-4-8 (b) 所示的恒压源与电阻器串联的等效电路。

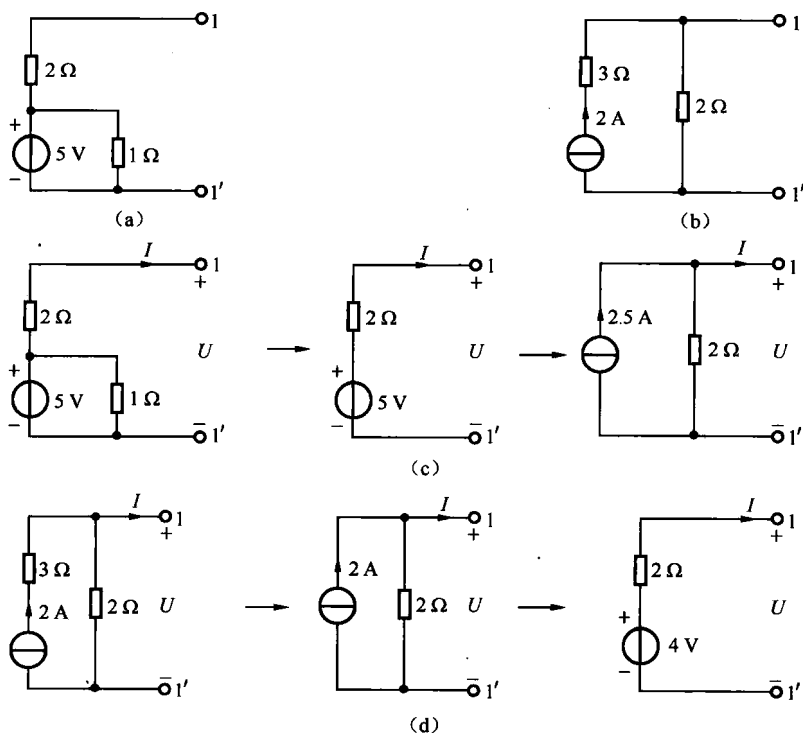


图 1-4-8

解 如图 1-4-8 (a) 所示，根据电压源的伏安特性，5V 电压源与 1Ω 电阻并联的电路，可等效为 5V 电压源，等效过程如图 1-4-8 (c) 所示，可计算出 $I_S = \frac{5}{2}A = 2.5A$ 。

如图 1-4-8 (b) 所示, 根据电流源的伏安特性, 2A 电流源与 3Ω 电阻串联的电路, 可等效为 2A 电流源, 等效过程如图 1-4-8 (d) 所示, 可计算出 $U_S = 2 \times 2V = 4V$ 。

【例 1-9】 在图 1-4-9 中, 求各理想电流源的端电压、功率及各电阻上消耗的功率。

解 设流过电阻 R_1 的电流为 I_3 , 有

$$I_3 = I_2 - I_1 = (2 - 1)A = 1A$$

(1) 对理想电流源 1 的端电压 U_1 , 有

$$U_1 = R_1 I_3 = 20 \times 1V = 20V$$

$$P_1 = U_1 I_1 = 20 \times 1W = 20W \text{ (消耗)}$$

因为 U_1 与 I_1 的参考方向相同, P 为正值, 电流从 “+”

端流入, 故为负载。

(2) 对理想电流源 2 的端电压 U_2 , 有

$$U_2 = R_1 I_3 + R_2 I_2 = (20 \times 1 + 10 \times 2)V = 40V$$

$$P_2 = U_2 I_2 = 40 \times 2W = 80W \text{ (发出)}$$

因为 U_2 与 I_2 的参考方向相反, P 为正值, 电流从 “+” 端流出, 故为电源。

(3) 对电阻 R_1 有

$$P_{R_1} = R_1 I_3^2 = 20 \times 1^2 W = 20W$$

(4) 对电阻 R_2 有

$$P_{R_2} = R_2 I_2^2 = 10 \times 2^2 W = 40W$$

校验功率平衡 $P_2 = P_1 + P_{R_1} + P_{R_2}$ ($80W = 20W + 20W + 40W$)

【例 1-10】 试求图 1-4-10 所示电路中的电流 I 。

解 用戴维南定理计算。

(1) 求结点 a、b 之间的开路电压 U_0 。

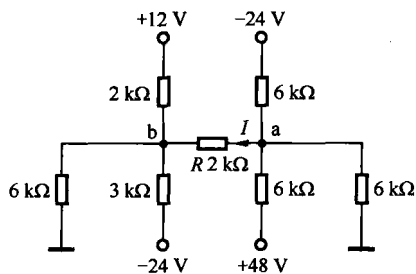


图 1-4-10

结点 a 的电位 V_a 可用结点电压法计算, 即

$$V_a = \frac{-\frac{24}{6} + \frac{48}{6}}{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6}} V = 8V$$

对结点 b 的电位, 有

$$V_b = \frac{\frac{12}{2} + \frac{-24}{3}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3}} V = -2V$$

$$U_0 = E = V_a - V_b = [8 - (-2)]V = 10V$$

(2) 求结点 a、b 间开路后, 其间的等效内阻 R_0 。

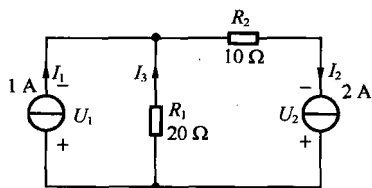
将电压源短路后, 可见图 1-4-10 中右边 3 个 6kΩ 电阻器并联, 左边 2kΩ、6kΩ、3kΩ 3 个电阻器也并联, 而后两者串联, 即得

$$R_0 = \left[\frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6}} + \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3}} \right] k\Omega = (2 + 1)k\Omega = 3k\Omega$$

(3) 求电流 I 。

$$I = \frac{U_0}{R_0 + R} = \frac{10}{(3 + 2) \times 10^3} A = 2 \times 10^{-3} A = 2mA$$

图 1-4-9



1.5 习题全解

1.1 如题图 1-1 所示, 5 个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向如题图 1-1 所示, 通过实验测知

$$I_1 = -4\text{A}, \quad I_2 = 6\text{A}, \quad I_3 = 10\text{A},$$

$$U_1 = 140\text{V}, \quad U_2 = -90\text{V}, \quad U_3 = 60\text{V}, \quad U_4 = -80\text{V}, \quad U_5 = 30\text{V},$$

- (1) 试在图中标出各电流和电压的实际方向。
- (2) 判断这 5 个元件中哪几个是电源? 哪几个是负载?
- (3) 计算各元件的功率, 电源发出的功率与负载消耗的功率是否平衡?

解 (1) U_1 、 U_3 、 U_5 、 I_2 、 I_3 为正值, 实际方向与参考方向一致; U_2 、 U_4 、 I_1 为负值, 实际方向与参考方向相反。

(2) 元件 1、2 的电压和电流参考方向一致, P 为负值, 是电源; 元件 3、4、5 的电压和电流参考方向一致, P 为正值, 是负载。

(3) $P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) \text{W} = -560\text{W}$, 元件 1 发出 560W 的功率;

$P_2 = U_2 I_2 = (-90) \times 6\text{W} = -540\text{W}$, 元件 2 发出 540W 的功率;

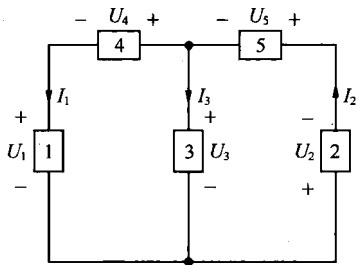
$P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10\text{W} = 600\text{W}$, 元件 3 消耗 600W 的功率;

$P_4 = U_4 I_1 = (-80) \times (-4) \text{W} = 320\text{W}$, 元件 4 消耗 320W 的功率;

$P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6\text{W} = 180\text{W}$, 元件 5 消耗 180W 的功率;

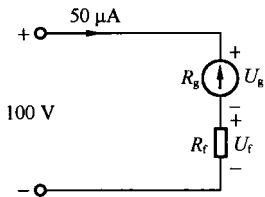
$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = [(-560) + (-540) + 600 + 320 + 180] \text{W} = 0;$$

因此电源发出的功率和负载消耗的功率平衡。



题图 1-1

1.2 如题图 1-2 所示, 用一个满刻度偏转电流为 $50\mu\text{A}$ 、电阻 R_g 为 $2\text{k}\Omega$ 的表头制成 100V 量程的直流电压表, 应串联多大的附加电阻 R_f ?



题图 1-2

解 $U_g = R_g I = (2 \times 50) \text{mV} = 0.1\text{V}$

$$U_f = (100 - 0.1)\text{V} = 99.9\text{V}$$

$$R_f = \frac{U_f}{I} = \frac{99.9}{50 \times 10^{-6}} \Omega = 1998\text{k}\Omega$$

1.3 两只白炽灯泡, 额定电压均为 110V , 甲灯泡的额定功率 $P_{N_1} = 60\text{W}$, 乙灯泡的额定功率 $P_{N_2} = 100\text{W}$ 。如果把甲、乙两灯泡串联, 接在 220V 的电源上, 试计算每个灯泡的电压为多少? 并说明这种接法是否正确?

解 甲灯泡的电压是 137.5V , 乙灯泡的电压是 82.5V 。

这种接法不正确, 甲灯泡的电压超过额定电压, 容易烧坏。

1.4 在电池两端接上电阻 $R_1 = 14\Omega$ 时, 测得电流 $I_1 = 0.4\text{A}$; 若接上电阻 $R_2 = 23\Omega$ 时, 测得电流 $I_2 = 0.35\text{A}$ 。试求此电池的电动势 E 和内阻 R_0 。

解 列出 KVL 方程, 有

$$R_1 I_1 + R_0 I_1 = E$$

$$R_2 I_2 + R_0 I_2 = E$$

代入数据得

$$\begin{aligned} 14 \times 0.4 + R_0 \times 0.4 &= E \\ 23 \times 0.35 + R_0 \times 0.35 &= E \end{aligned}$$

得

$$E = 25.2\text{V}, R_0 = 49\Omega$$

1.5 在题图 1-3 所示直流电路中, 已知理想电压源的电压 $U_S = 3\text{V}$, 理想电流源 $I_S = 3\text{A}$, 电阻 $R = 1\Omega$ 。

- (1) 试求理想电压源的电流和理想电流源的电压;
- (2) 讨论电路的功率平衡关系。

解 (1) 由于理想电压源与理想电流源串联, 故

$$I = I_S = 3\text{A}$$

根据电流的方向可知

$$U = U_S + RI_S = (3 + 1 \times 3)\text{V} = 6\text{V}$$

(2) 由电压和电流的方向可知, 理想电压源处于负载状态, 它吸收的功率为

$$P_L = U_S I = 3 \times 3\text{W} = 9\text{W}$$

理想电流源处于电源状态, 它输出的功率为

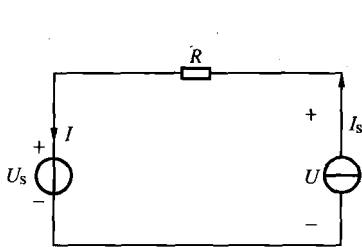
$$P_0 = UI_S = 6 \times 3\text{W} = 18\text{W}$$

电阻消耗的功率为

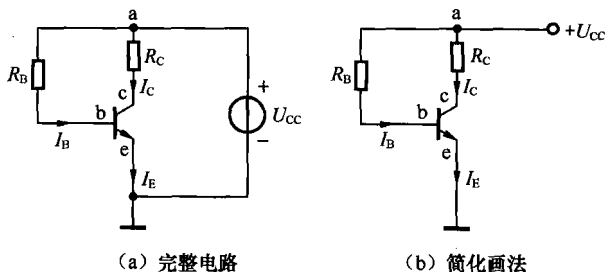
$$P_R = RI_S^2 = 1 \times 3^2\text{W} = 9\text{W}$$

可见, $P_0 = P_L + P_R$, 电路中的功率是平衡的。

1.6 在题图 1-4 所示电路中, $U_{CC} = 6\text{V}$, $R_C = 2\text{k}\Omega$, $I_C = 1\text{mA}$, $R_B = 270\text{k}\Omega$, $I_B = 0.02\text{mA}$, e 的电位 V_e 为零。求 a、b、c 三点的电位。



题图 1-3



题图 1-4

解 $V_a = U_{CC} = 6\text{V}$

$$V_b = U_{CC} - R_B I_B = (6 - 270 \times 10^3 \times 0.02 \times 10^{-3})\text{V} = 0.6\text{V}$$

$$V_c = U_{CC} - R_C I_C = (6 - 2 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-3})\text{V} = 4\text{V}$$

1.7 试求题图 1-5 中 a、b 两点间的等效电阻 R_{ab} 。

解 $R_{ab} = 4 // (2 + 4 // 4) \Omega = 2\Omega$

1.8 求题图 1-6 (a) 所示电路的戴维南等效电路。