

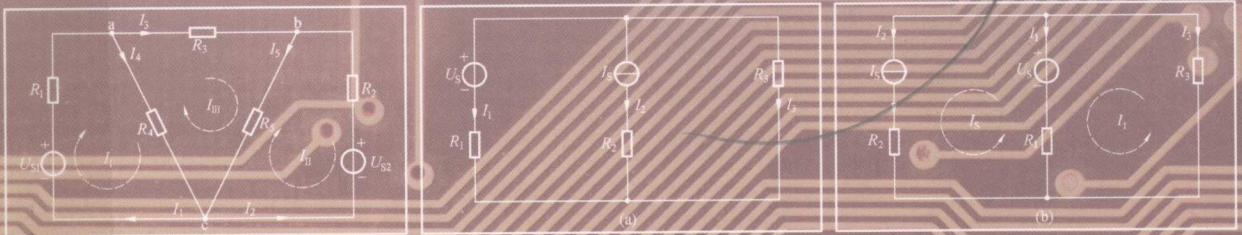


电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

电路基本理论

主编 唐介

ianLu
JiBen LiLun



哈尔滨工业大学出版社

TM13/209

2008

电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书

电路基本理论

主编 唐 介

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书是《电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书》之一,是为已学过《电工学》课程而又希望对电路理论有较多了解的读者编写的。本书共7章,分别为直流电路、交流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、一阶电路的瞬态分析、二阶电路的瞬态分析和非线性电路。书中例题丰富,且每章后均附有习题及答案,便于读者学习参考。

本书既可作为《电工学》课程的补充教材,也可供电类专业学生学习电路课程和一般工程技术人员研究电路理论问题时参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基本理论/唐介主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.7

(电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5603 - 2689 - 4

I .电… II .唐… III .电路理论 IV .TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 079946 号

策划编辑 王桂芝 贾学斌

责任编辑 王桂芝 范业婷

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 12 字数 300 千字

版 次 2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2689 - 4

定 价 25.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

◎ 序

Foreword

随着经济全球化、产业国际竞争的加剧和电子信息科学技术的飞速发展,电气工程与电气信息科学技术领域的国际交流日益广泛,因此,对能够参与国际化工程项目的工程师的需求愈来愈迫切,这便对高等学校电气工程与电气信息科学技术领域专业人才的培养提出了更高的要求。

近些年,国家教育部对本科生教育提出了“厚基础、宽口径”的要求,使学生掌握了比较扎实的基础知识,拓宽了学生的就业方向和就业广度。但与此同时,也显露出刚毕业的大学生工程实践能力差、难以很快适应工作的问题,对于电类专业的学生来说,缺少工程教育的过程,很多工程实际操作、实用技术,因受学时限制,不能讲深、讲透,出现了“理论基础扎实、工程实践能力欠缺”的问题;而对于那些在校时只接触过类似“电工学”这样的电类基础课程,而工作后却从事电气领域相关工作的非电类专业人员来说,这种问题就显得更为突出。目前,教育部已经认识到并着手解决这方面的问题,开始在工科高等学校开展工程教育专业认证工作,积极推进工程教育改革,以提高学生的工程实践能力和创新能力,培养能够参与国际化工程项目的工程师,在实质等效性的要求下推进全球工程教育的交流。

为了更好地配合高等学校的工程教育改革,我们组织编写了《电气工程与电气信息科学技术工程系列丛书》。该丛书侧重介绍当代电气工程与电气信息科学技术领域的主要知识和应用技术,重点讲述工程实践中的一些具体实例,以使这些学生能够尽快了解该领域内的新知识和新技术,领悟工程概念,提高工程实践能力,使其工作后能够尽快进入角色。该丛书的编写原则是理论上“以必须和够用为度”、“重点突出”;实例选择上“以工程实践为基础”、“实用性强”。

该丛书适合于电类专业的在校本科生,使其在拥有较扎实的理论基础上,加强工程实践教学,较快地了解和掌握工程实践中的一些实际应用技术;也适合于毕业后从事电气领域相关工作的非电类专业学生,使其能够通过该丛书系统地了解该领域的主要知识和实际应用技术,尽快进入工作角色。由于其简练的理论阐述和较强的实用特性,该丛书也可以作为高职高专类相关专业的教材。

该丛书作者队伍阵容强大,既有国内电工学教育界的知名学者,也有哈尔滨工业大学电气工程领域内从事多年教学和科研工作的教授、博导。他们将近年来该领域的新成果和多年来的教学、科研经验,融会于丛书中。相信该丛书必将对广大电气工程与电气信息科学技术人员和在校师生有较大的帮助。

2008年6月

◎ 前言

Preface

本书是《电气工程与电气信息科学技术系列丛书》之一,本书所讨论的电路基本理论是学习其他电工和电子知识的基础。随着科学技术的发展,各学科之间的相互融合和相互渗透进一步加强,电工学的教学内容也在不断扩大,而电工学的教学时数却非常有限。兼之,不同专业对电工学课程的教学要求又不尽相同,因而,仅靠电工学教材的内容往往不能满足要求,还存在继续学习之需要。本书就是为已学过《电工学》课程而又希望对电路理论有较多了解的读者编写的,主要是作为非电类专业学生的补充读物,也可供电类专业学生和工程技术人员研究电路理论时参考。有鉴于此,本书在编写时注意了以下几点:

1. 尽量避免与电工学的内容重复,许多电工学教材中已讲过的基本内容本书直接引用,不再重复。对有些为保持本书内容的连贯性和系统性而涉及的内容也都做了补充和扩展。

2. 在文字叙述方面,力求言简意赅、通俗易懂,便于自学。

3. 在内容的选择和叙述方面,既在电工学的基础上对电路部分做了扩展、补充和加深,又有别于电类专业电路课程教材,更注重基本概念、基本原理和基本方法的介绍,并突出了对偶关系,以期读者在学习时能起到事半功倍的效果。

4. 各章之间保持相对的独立性,便于已学过电工学课程的读者可以根据需要选择某些章节阅读,不一定非要从头阅读。

5. 本书的名词术语、文字符号和图形符号一律遵照国家标准。

参加本书编写的有唐介(第1、2、3章)、盛贤君(第4、7章)和刘烧(第5、6章)。

由于编者水平有限,疏漏和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008年1月

于大连理工大学

◎ 目 录

Contents

第1章 直流电路	1
1.1 电阻的等效变换	1
1.1.1 电阻或电导的串联	1
1.1.2 电阻或电导的并联	1
1.1.3 电阻或电导的Y- Δ 变换	2
1.2 电源的等效变换	5
1.2.1 理想电源模型	5
1.2.2 实际电源模型	7
1.2.3 等效电源定理	11
1.3 支路电流法和支路电压法	12
1.3.1 支路电流法	13
1.3.2 支路电压法	14
1.4 回路电流法和节点电压法	15
1.4.1 回路电流法	15
1.4.2 节点电压法	19
1.5 叠加定理和齐性定理	23
1.5.1 叠加定理	23
1.5.2 齐性定理	24
1.6 对偶原理	24
习 题	25
第2章 交流电路	31
2.1 交流电路的欧姆定律和基尔霍夫定律	31
2.1.1 欧姆定律	31
2.1.2 基尔霍夫定律	32
2.2 阻抗和导纳	33
2.2.1 RCL元件的阻抗和导纳	33
2.2.2 RCL串联电路的阻抗和导纳	33
2.2.3 RCL并联电路的阻抗和导纳	34
2.2.4 阻抗和导纳的串联	36
2.2.5 阻抗和导纳的并联	36

2.3	交流电路的分析方法	37
2.4	交流电路的功率	44
2.4.1	交流二端网络的功率	44
2.4.2	复功率	45
2.5	有互感的交流电路	46
2.5.1	互感元件	46
2.5.2	互感线圈的串联	50
2.5.3	互感线圈的并联	51
2.5.4	含互感元件的交流电路的分析	53
2.6	电路的频率特性	54
2.6.1	低通滤波电路	54
2.6.2	高通滤波电路	56
2.6.3	带通滤波电路	58
2.7	电路中的谐振	60
2.7.1	谐振的实质	60
2.7.2	串联谐振	60
2.7.3	并联谐振	63
2.7.4	谐振电路的变换	65
2.8	交流电路中的对偶关系	67
习 题		69
第3章	三相电路	73
3.1	三相电源	73
3.2	三相负载	76
3.2.1	三相负载的线值与相值的关系	76
3.2.2	三相负载的正确连接	77
3.3	对称三相电路的计算	79
3.4	不对称三相电路的计算	83
3.5	对称分量法	88
3.5.1	对称分量	88
3.5.2	不对称三相电压和电流的分量	89
3.5.3	对称分量法的应用	90
3.6	三相功率	91
3.6.1	有功功率、无功功率和视在功率	91
3.6.2	瞬时功率的平衡性	92
习 题		93
第4章	非正弦周期电流电路	95
4.1	谐波分析	95

4.2	谐波的近似计算法	101
4.3	非正弦周期信号的频谱	102
4.4	非正弦周期信号的有效值	103
4.5	非正弦周期电流电路中电压和电流的计算	104
4.6	非正弦周期电流电路中的平均功率	107
4.7	傅里叶级数的指数形式	108
习 题		109
第 5 章 一阶电路的瞬态分析		111
5.1	激励和响应	111
5.1.1	激励	111
5.1.2	响应	115
5.1.3	分析方法	116
5.2	初始值和稳态值	116
5.2.1	初始值	117
5.2.2	稳态值	117
5.3	一阶电路的零输入响应	118
5.3.1	一阶 RC 电路的零输入响应	118
5.3.2	一阶 GL 电路的零输入响应	120
5.4	一阶电路的阶跃响应	123
5.4.1	一阶 RC 电路的阶跃响应	123
5.4.2	一阶 GL 电路的阶跃响应	125
5.5	一阶电路的阶跃全响应	126
5.5.1	一阶 RC 电路的阶跃全响应	126
5.5.2	一阶 GL 电路的阶跃全响应	127
5.5.3	解一阶电路阶跃响应的三要素法	128
5.6	一阶电路的矩形脉冲响应	130
5.6.1	微分电路	131
5.6.2	积分电路	131
5.7	一阶电路的正弦响应	132
5.8	一阶电路的冲激响应	135
5.9	卷积积分	135
习 题		138
第 6 章 二阶电路的瞬态分析		141
6.1	拉普拉斯变换	141
6.1.1	拉普拉斯变换的定义	141
6.1.2	拉普拉斯变换的基本定理	142
6.1.3	简单函数的拉普拉斯变换	144

6.2 拉普拉斯反变换	145
6.2.1 拉普拉斯反变换的定义	145
6.2.2 求解拉普拉斯反变换的部分分式展开法	145
6.3 复频域中的电路定律	147
6.3.1 电路元件伏安关系的复频域表示	147
6.3.2 基尔霍夫定律的复频域表示	150
6.3.3 运算阻抗和运算导纳	151
6.4 用拉普拉斯变换分析电路的瞬态过程	152
6.5 传递函数	154
习 题	157
第7章 非线性电路	162
7.1 非线性元件	162
7.1.1 非线性电阻	162
7.1.2 非线性电容	163
7.1.3 非线性电感	164
7.2 非线性电路的图解分析法	165
7.3 非线性电路的数值分析法	168
7.4 非线性电路的小信号分析法	168
7.5 非线性电路的分段线性化方法	170
习 题	172
习题答案	174
参考文献	179

第 1 章

直流电路

内容提要:本章在学完电工学的基础上比较全面地介绍了线性直流电路稳态的分析和计算方法,内容包括:电阻的等效变换、电源的等效变换、支路电流和支路电压法、回路电流和节点电压法、叠加定理和齐性定理等。这些方法只要稍加扩展还可以用于交流电路的分析和计算。最后本章以对偶原理作为结束,以期读者在学习时能起到事半功倍的效果。

1.1 电阻的等效变换

1.1.1 电阻或电导的串联

n 个电阻串联时,其等效电阻 R 为

$$R = \sum R_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.1)$$

电阻的倒数称为电导,单位为西[门子](S),用 G 表示。因此 n 个电导串联时,其等效电导为

$$\frac{1}{G} = \sum \frac{1}{G_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.2)$$

若串联电阻或电导上的总电压为 U ,则每个电阻或电导上分配到的电压为

$$U_i = \frac{R_i}{R} U \quad (1.3)$$

$$U_i = \frac{G_i}{G} U \quad (1.4)$$

1.1.2 电阻或电导的并联

n 个电阻或电导并联时,其等效电阻或电导为

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.5)$$

$$G = \sum G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.6)$$

若并联电阻或电导上的总电流为 I ,则每个电阻或电导上分配到的电流为

$$I_i = \frac{R}{R_i} I \quad (1.7)$$

$$I_i = \frac{G_i}{G} I \quad (1.8)$$

1.1.3 电阻或电导的 Y - Δ 变换

在图 1.1 所示的电路中,图 1.1(a)为电阻的星形(Y)接法;图 1.1(b)为电阻的三角形(Δ)接法。由于画法的不同,Y形接法有时又称为T形接法, Δ 形接法有时又称为 Π 形接法。这两种接法之间可以进行等效变换。电导的星形接法与电阻的星形接法类似。

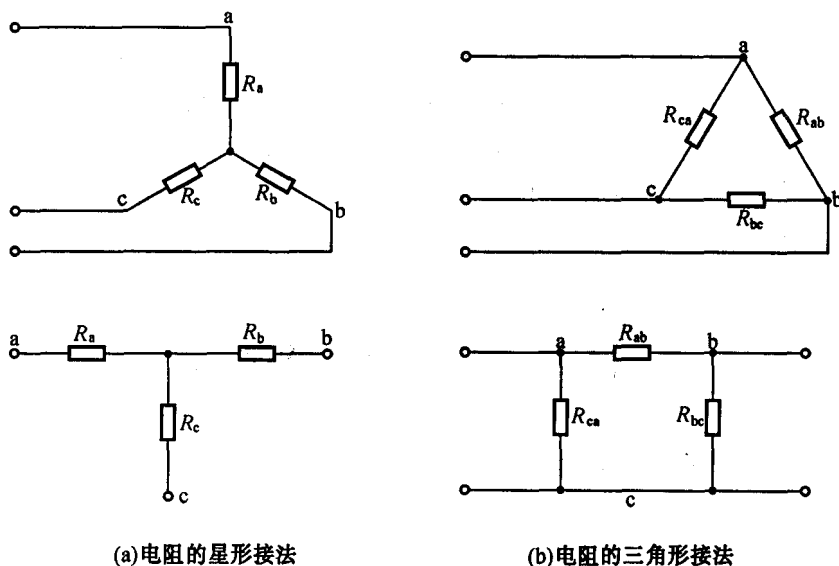


图 1.1 电阻的星形接法和三角形接法

根据对外部电路等效的条件,它们的3个端点 a、b、c 之间的电压及由外部流入这3个端点的电流必须相等。根据这一条件,如果在 a 和 b 之间加上相同的电压,则从外部流入 a 和 b 的电流也应该分别相等,那么 a、b 间的电阻也应该相等。同样,若在 b、c 之间,以及在 c、a 之间加上相同的电压,也会有相同的结果。由此可知

$$\left. \begin{aligned} \text{a、b 间的电阻} \quad R_a + R_b &= \frac{R_{ab}(R_{bc} + R_{ca})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \\ \text{b、c 间的电阻} \quad R_b + R_c &= \frac{R_{bc}(R_{ca} + R_{ab})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \\ \text{c、a 间的电阻} \quad R_c + R_a &= \frac{R_{ca}(R_{ab} + R_{bc})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

联立解这3个方程式,即可得到电阻或电导的 Y - Δ 等效变换公式如下。

(1) 星形变换为三角形。

$$\left. \begin{aligned} R_{ab} &= R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c} \\ R_{bc} &= R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a} \\ R_{ca} &= R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

或

$$\left. \begin{aligned} G_{ab} &= \frac{G_a G_b}{G_a + G_b + G_c} \\ G_{bc} &= \frac{G_b G_c}{G_a + G_b + G_c} \\ G_{ca} &= \frac{G_c G_a}{G_a + G_b + G_c} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

(2) 三角形变换为星形。

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \\ R_b &= \frac{R_{bc} R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \\ R_c &= \frac{R_{ca} R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

或

$$\left. \begin{aligned} G_a &= G_{ab} + G_{ca} + \frac{G_{ab} G_{ca}}{G_{bc}} \\ G_b &= G_{bc} + G_{ab} + \frac{G_{bc} G_{ab}}{G_{ca}} \\ G_c &= G_{ca} + G_{bc} + \frac{G_{ca} G_{bc}}{G_{ab}} \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

最简单的情况是由3个相等的电阻或电导星形或三角形连接进行等效变换。在这种情况下,设

$$\begin{aligned} R_a &= R_b = R_c = R_Y \\ R_{ab} &= R_{bc} = R_{ca} = R_{\Delta} \end{aligned}$$

则它们之间的等效关系为

$$\left. \begin{aligned} R_{\Delta} &= 3R_Y \\ G_{\Delta} &= \frac{1}{3} G_Y \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

【例 1.1】 在图 1.2(a) 所示的电桥电路中,已知 $U_S = 48 \text{ V}$, $R_1 = 16 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $R_4 = 76 \Omega$, $R_5 = 10 \Omega$, 求各支路中的电流。

【解】 在给定的电路中,只需将三角形接法的 bcd 变换成等效的星形接法,即电路由图 1.2(a) 变为图 1.2(b),就成了可以进行串并联简化的简单电路。由式(1.12) 求得等效星形的等效电阻为

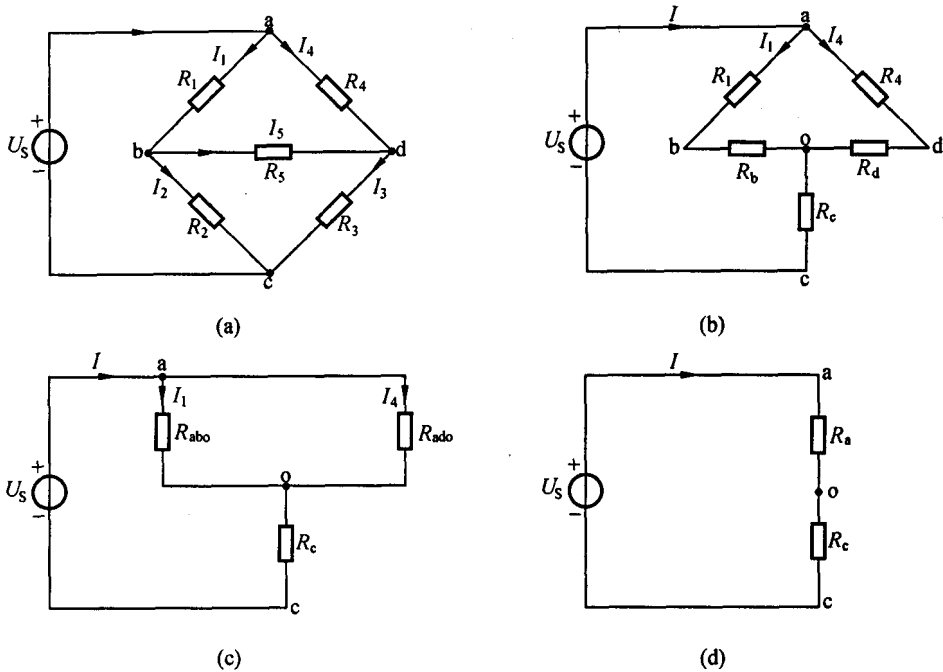


图 1.2 例 1.1 电路图

$$R_b/\Omega = \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_3 + R_5} = \frac{20 \times 10}{20 + 20 + 10} = 4$$

$$R_c/\Omega = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_5} = \frac{20 \times 20}{20 + 20 + 10} = 8$$

$$R_d/\Omega = \frac{R_3 R_5}{R_2 + R_3 + R_5} = \frac{20 \times 10}{20 + 20 + 10} = 4$$

然后将图 1.2(b) 简化为图 1.2(c), 求得串联等效电阻为

$$R_{abo}/\Omega = R_1 + R_b = 16 + 4 = 20$$

$$R_{ado}/\Omega = R_4 + R_d = 76 + 4 = 80$$

再将图 1.2(c) 简化为图 1.2(d), 求出 R_{abo} 和 R_{ado} 的并联等效电阻 R_a 为

$$R_a/\Omega = \frac{R_{abo} R_{ado}}{R_{abo} + R_{ado}} = \frac{20 \times 80}{20 + 80} = 16$$

由此求得电桥电路的总等效电阻为

$$R/\Omega = R_a + R_c = 16 + 8 = 24$$

电源输出的电流为

$$I/A = \frac{U_s}{R} = \frac{48}{24} = 2$$

回到图 1.2(c), 利用并联电阻的分流关系求得

$$I_1/A = \frac{R_a}{R_{abo}} I = \frac{16}{20} \times 2 = 1.6$$

$$I_4/A = \frac{R_a}{R_{ado}} I = \frac{16}{80} \times 2 = 0.4$$

为了求出其他支路的电流,先从图 1.2(b) 中求出 b、d 之间的电压

$$U_{bd}/V = I_1 R_b - I_4 R_d = 1.6 \times 4 - 0.4 \times 4 = 4.8$$

由图 1.2(a) 求得

$$I_5/A = \frac{U_{bd}}{R_5} = \frac{4.8}{10} = 0.48$$

$$I_2/A = I_1 - I_5 = 1.6 - 0.48 = 1.12$$

$$I_3/A = I_5 + I_4 = 0.48 + 0.4 = 0.88$$

1.2 电源的等效变换

1.2.1 理想电源模型

1. 理想独立电源

独立电源简称独立源,理想独立源有电压源和电流源两种,图形符号分别如图 1.3(a) 和图 1.3(b) 所示。

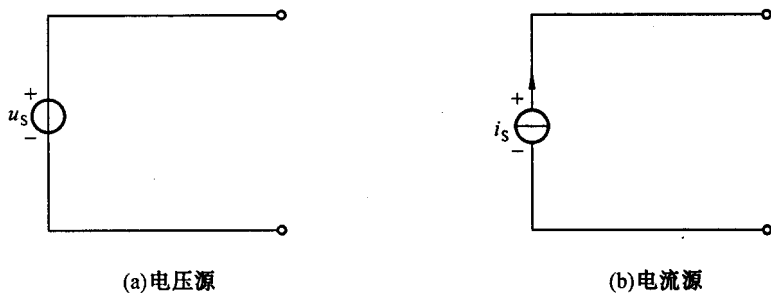


图 1.3 理想独立源

电压源的端电压 u_s 是由它自身确定的,称为源电压。在直流电路中,源电压 $u_s = U_s$, 是恒定不变的定值。在正弦交流电路中, $u_s = U_m \sin(\omega t + \psi)$, 是 U_m 、 ω 和 ψ 都一定的正弦电压,用相量表示则为 \dot{U}_s 。

多个电压源串联时,可合并成一个等效的电压源,如图 1.4 所示,等效电压源的源电压 u_s 等于各串联电压源的源电压的代数和,即

$$u_s = \sum u_{s_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.15)$$

与 u_s 极性相同的 u_{s_i} 前面取正号,相反的取负号。

电压源与其他元件并联时,对外部电路而言,如图 1.5 所示,可将其他元件除去,而用一个源电压不变的电压源等效代替。其他元件的存在与否,不会影响外部电路的电压和电流,仅影响其自身和电压源的电流。

电流源的端电流 i_s 是由它自身确定的,称为源电流。在直流电路中,源电流 $i_s = I_s$, 是恒定不变的定值。在正弦交流电路中, $i_s = I_m \sin(\omega t + \psi)$, 是 I_m 、 ω 和 ψ 都一定的正弦电流,用相量表示则为 \dot{I}_s 。电流源的输出电压与外电路情况有关。

多个电流源并联时,可合并成一个等效的电流源,如图 1.6 所示,等效电流源的源电流等

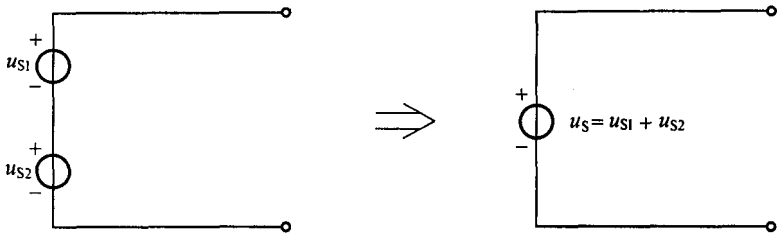


图 1.4 电压源的串联

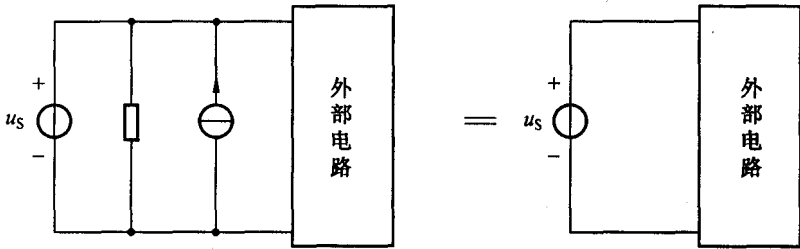


图 1.5 电压源与其他元件并联

于各并联电流源的源电流的代数和,即

$$i_S = \sum i_{Si} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.16)$$

与 i_S 极性相同的 i_{Si} 前面取正号,相反的取负号。

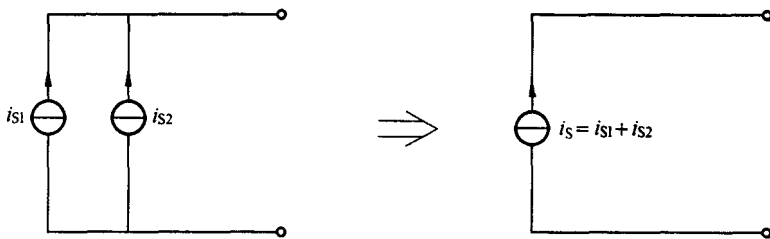


图 1.6 电流源的并联

电流源与其他元件串联时,对外部电路而言,如图 1.7 所示,可将其他元件除去,而用一个源电流不变的电流源等效代替。其他元件的存在与否,不会影响外部电路的电压和电流,仅影响其自身和电流源的电流。

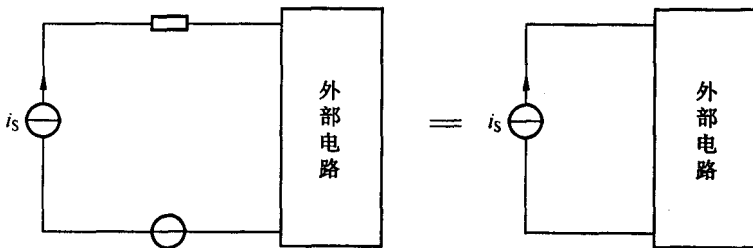


图 1.7 电流源与其他元件串联

电压源的源电压和电流源的源电流是由它们自身确定的,与电路中其他电压和电流无关,

即是独立存在的,故这种电源称为独立源。

2. 理想受控电源

源电压或源电流不是独立存在,而是受电路中某处的电压或电流控制的电源称为受控电源,简称受控源。由于电源分电压源和电流源两种,控制量又有电压和电流两种,因此受控源又分为电压控制电压源(简称压控电压源)、电流控制电压源(简称流控电压源)、电压控制电流源(简称压控电流源)和电流控制电流源(简称流控电流源)。它们的图形符号如图 1.8 所示。

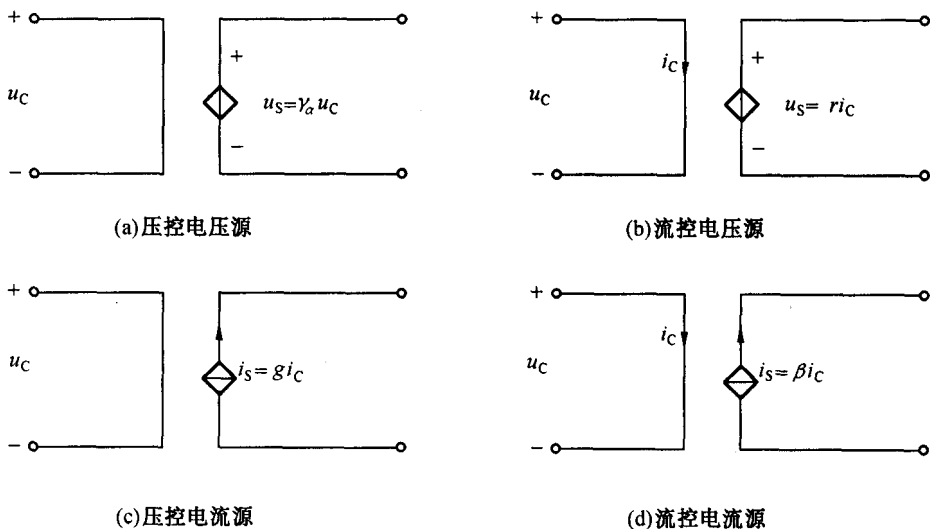


图 1.8 理想受控源

受控电源除源电压和源电流受到控制外,其他性质与独立源相同。其控制端或开路(压控)或短路(流控)。通常在电路图中可以不画,只需在菱形符号旁边注明源电压或源电流与控制电压或控制电流的关系,并在控制量所在支路上明确标出控制量即可。

上述独立电源和受控电源自身都不消耗电功率,是理想有源元件。各种理想有源元件之间,例如电压源与电流源之间是不能等效变换的。

1.2.2 实际电源模型

一般来说,实际电源在输出电功率的同时,自身还要消耗一部分电功率,因此,实际电源不能仅用理想电源模型来表示,还要增加一个电阻元件,这里仅以实际直流电源为例来分析其电源模型的种类和变换。

实际电源的电源模型有戴维宁模型和诺顿模型两种。

戴维宁模型或称戴维宁等效电源,由源电压和电阻串联组成,如图 1.9(a) 所示。诺顿模型或称诺顿等效电源,由源电流和电阻并联组成,如图 1.9(b) 所示。上述模型中的电阻或电导可以任意选用,不必拘泥于图 1.7 中的规定。

戴维宁模型和诺顿模型在对外等效的条件下相互之间可以等效变换,变换公式为

$$I_{S3} = \frac{U_S}{R} \quad \text{或} \quad U_S = \frac{I_S}{G} \quad (1.17)$$

且变换前后电阻元件不变,即

$$RG = 1 \quad (1.18)$$

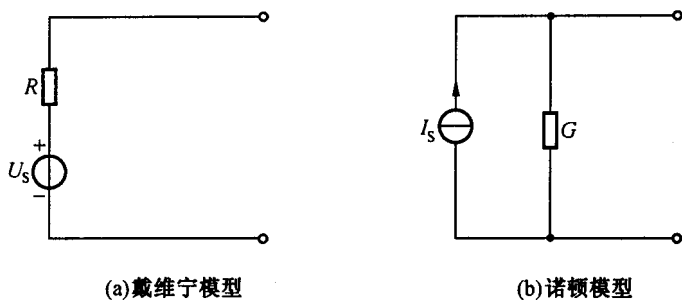


图 1.9 实际电源模型

变换时要注意 I_S 的流出端要对应于 U_S 的正极性端。

戴维宁模型和诺顿模型的等效变换可用来简化电路的分析。

【例 1.2】 在图 1.10(a) 所示的电路中, 已知 $U_{S1} = 15 \text{ V}$, $R_{01} = 0.1 \Omega$, $U_{S2} = 30 \text{ V}$, $R_{02} = 0.2 \Omega$, $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, 求两电压源所供给的电流及功率。

【解】 将图 1.10(a) 中的戴维宁模型用诺顿模型来表示, 电路变成图 1.10(b) 所示电路, 其中

$$I_{S1}/\text{A} = \frac{U_{S1}}{R_{01}} = \frac{15}{0.1} = 150$$

$$I_{S2}/\text{A} = \frac{U_{S2}}{R_{02}} = \frac{30}{0.2} = 150$$

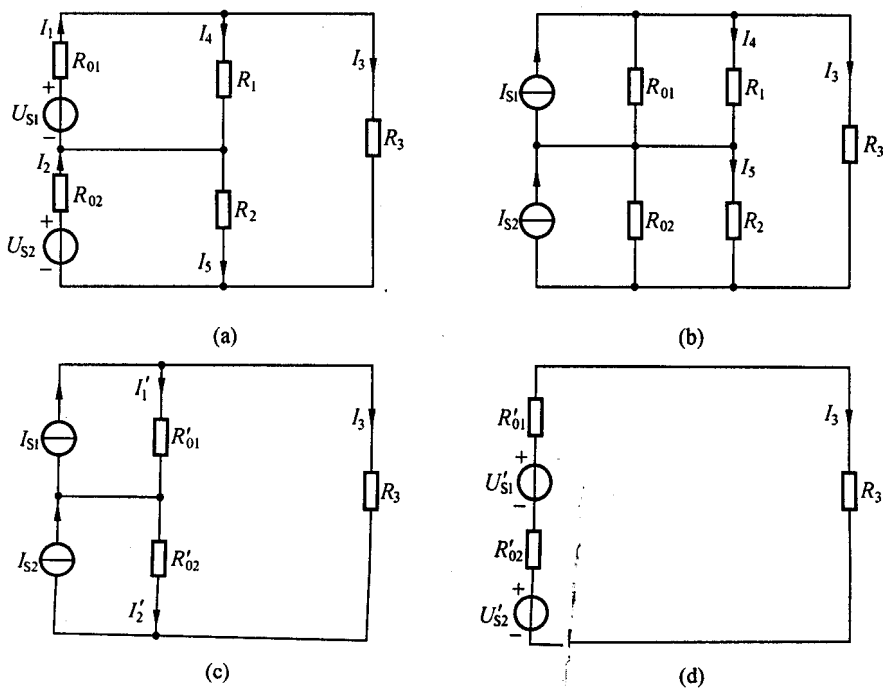


图 1.10 例 1.2 的电路

由于 R_{01} 与 R_1 并联, R_{02} 与 R_2 并联, 图 1.10(b) 可简化为图 1.10(c)。求出并联等效电阻为