

高等学校“十三五”精品规划教材

电工电子技术

陈春玲◎主编



辽宁大学出版社

高等学校“十三五”精品规划教材

电工电子技术

主 编	陈春玲	
副主编	姜凤利	杨秀丽
	谭东明	石敏惠
	周玉宏	
主 审	许童羽	

辽宁大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术/陈春玲主编. —沈阳: 辽宁大学出版社, 2016. 11

高等学校“十三五”精品规划教材

ISBN 978-7-5610-8437-3

I. ①电… II. ①陈… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 299564 号

电工电子技术

DIANGONG DIANZI JISHU

出 版 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 鞍山新民进电脑印刷有限公司

发 行 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 18.75

字 数: 433 千字

出版时间: 2016 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2017 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 于盈盈

封面设计: 徐澄珩

责任校对: 齐 阅

书 号: ISBN 978-7-5610-8437-3

定 价: 39.50 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86830665

网 址: <http://press.lnu.edu.cn>

电子邮件: lnupress@vip.163.com

前 言

《电工电子技术》一书是高等学校“十三五”精品规划教材之一。该书的基本内容符合高等学校精品课规划教材研究会审定的《电工电子技术》教学大纲，适用于高等农业、林业、水利水电院校或其它院校非电专业的本、专科教材以及电气工程技术人员参考和自学。

在本教材编写过程中，作者总结和吸收了各院校教学和教学改革的有益经验，注重理论的系统性和实用性，删除了以往不适合的内容，增加了新的知识和对一些问题的分析思路以及解题方法，使之更适合组织教学和学生自学。书中例题、习题丰富，图形、符号均采用最新国家标准。书后附有全书绝大部分课后练习题的答案。本教材参考学时为 50~90 学时。

参加本教材编写的单位有：沈阳农业大学等院校以及相关电力工程实践部门。

本书编写人员：陈春玲、姜凤利、杨秀丽、谭东明、石敏惠、周玉宏、王俊。

由于编者水平和时间有限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2016 年 10 月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的基本概念	1
1.2 电压源与电流源及其等效变换	6
1.3 基尔霍夫定律及支路电流法	11
1.4 节点电压法	14
1.5 叠加定理	17
1.6 等效电源定理	21
1.7 受控源	27
小结	29
习题	29
第 2 章 单相交流电路	34
2.1 正弦交流电的基本概念	34
2.2 正弦量的表示方法	40
2.3 单一参数的交流电路	45
2.4 RLC 串联交流电路	53
2.5 RLC 并联交流电路	58
2.6 电路中的谐振	63
小结	67
习题	67
第 3 章 三相交流电路	71
3.1 三相交流电源	71
3.2 对称三相电路	74
3.3 不对称三相电路	78
3.4 三相电路的功率	81

小结	83
习题	83
第 4 章 变压器	85
4.1 变压器的基本结构和工作原理	85
4.2 变压器的运行分析	91
4.3 变压器的运行特性	93
4.4 三相变压器及特殊用途变压器	95
小结	100
习题	100
第 5 章 电动机	102
5.1 直流电机	102
5.2 三相异步电动机的结构和工作原理	107
5.3 三相异步电动机的转矩与机械特性	112
5.4 异步电动机的工作特性	116
5.5 三相异步电动机的使用	117
5.6 单相异步电动机	128
小结	130
习题	130
第 6 章 常用半导体器件	132
6.1 半导体的基本知识	132
6.2 半导体二极管	135
6.3 晶体三极管	141
6.4 场效应管	148
小结	151
习题	151
第 7 章 基本放大电路	154
7.1 放大电路	154
7.2 放大电路的分析方法	156
7.3 多级放大电路	167
小结	171

习题	172
第 8 章 集成运算放大器	176
8.1 集成运算放大器简介	176
8.2 放大电路中的反馈	180
8.3 集成运放在信号运算方面的应用	189
8.4 集成运放在信号处理方面的应用	201
小结	207
习题	208
第 9 章 直流电源	213
9.1 单相桥式整流电路	213
9.2 滤波电路	216
9.3 稳压管及串联型稳压电路	220
小结	223
习题	223
第 10 章 逻辑代数基础	225
10.1 数字电路概述	225
10.2 数制和编码	226
10.3 逻辑代数	229
10.4 逻辑函数的化简方法	236
小结	239
习题	239
第 11 章 门电路和组合逻辑电路	241
11.1 基本门电路	241
11.2 CMOS 集成门电路	245
11.3 TTL 集成门电路	248
11.4 组合逻辑电路的分析与设计	251
11.5 加法器	254
11.6 编码器	257
11.7 译码器和数码显示	259
小结	263

习题	263
第 12 章 触发器和时序逻辑电路	265
12.1 双稳态触发器	265
12.2 寄存器	271
12.3 计数器	275
12.4 555 定时器	280
12.5 数模和模数转换	286
小结	290
习题	290

第1章 直流电路

电路是电工技术和电子技术的基础,学好电路,特别是掌握电路的分析方法,为后面所要学习的电子电路、电机电路及电气控制、电气测量打下坚实的基础。本章主要介绍电路模型、电压和电流参考方向的概念、基尔霍夫电流电压定律以及各种电路的分析和计算方法等。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流流通的路径,是为某种需要由若干电气元件按一定方式组合起来的整体,主要用来实现能量的传输和转换或实现信号的传递和处理。

电路的结构形式,按所实现的任务不同而多种多样,但无论是哪种电路,均离不开电源、负载和必要的中间环节这三个最基本的组成部分。电源是提供电能的设备,如发电机、电池、信号源等;负载就是指用电设备,如电灯、电动机、空调和冰箱等;中间环节是用作电源与负载相连接的,通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。

在对实际电路进行分析时,需要在一定条件下将实际元器件以理想化形式表示,即将电路中元器件看作理想元件,所组成的电路称为电路模型,也简称为电路,这是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在今后学习中,我们所接触的电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等,若没有特殊说明,均表示为理想元件,分别由相应的参数来描述,用规定的图形符号来表示。

在研究电路时,经常会遇到“网络”这个名称。通常网络的涵义是从拓扑学观点考察电路。一般在研究复杂的电路问题时,常把电路称为网络。而在研究比较简单或单一具体电路时较多的使用电路这个名称。

1.1.2 参考方向

1.1.2.1 电流的参考方向

当元器件中有了电流通过,其流动方向总是从高电位一端流向低电位的一端,这是电流流动的实际方向;或者当知道了电流流动的实际方向,也能判别出元器件两端的电位高低。然而,当分析较为复杂的电路时,往往很难知道电流的实际流动方向,特别是交流电路,由于电流的实际流动方向随时间变化,其实际流动方向难以在电路中标注。因此,引入“参考方向”的概念,参考方向又称正方向,它是分析和计算电路的基础。

电流的实际方向是指正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。电流的参考方向是指在分析与计算电路时,任意假定某一个电流的方向。当所假定的电流方向与实际方向

一致时, 则电流为正值 ($I > 0$); 当所假定的电流方向与实际方向相反时, 则电流为负值 ($I < 0$)。由此可见参考电流的值是个代数量, 有正负之分, 只有其参考方向被假定后, 电流的值正负才有意义。

电流的参考方向用箭头标注, 也可用双下标表示。如 I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。在电路图中所标注的电流方向, 通常均为参考方向, 它们的值为正还是为负, 与所假定的参考方向有关, 如图 1-1 所示。



图 1-1 电流的参考方向与正负值

1.1.2.2 电压的参考方向

电压在分析电路时也有方向性, 电压的正方向规定为从高电位端指向低电位端, 即电位降低的方向。电压的参考方向和电流的参考方向一样, 也是任意指定的。在分析电路时, 假定某一方向是电位降低的方向, 如所假定的电压方向与实际方向一致时, 则电压为正值 ($U > 0$); 电压参考方向与实际方向相反时, 则电压为负值 ($U < 0$)。因此, 参考电压的值也是个代数量, 有正负之分, 同样只有参考方向被假定后, 电压的值正负才有意义。

电压的参考方向可以用“+”、“-”极性表示外, 还可以用双下标表示, 如 a 、 b 两点间的电压 U_{ab} , 它的参考方向是由 a 指向 b , 即 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”; 若参考方向选为由 b 指向 a , 则为 U_{ba} , 且 $U_{ba} = -U_{ab}$ 。

在电路图中所标注的电压方向, 通常均为参考方向, 它们的值为正还是为负, 与所假定的参考方向有关, 如图 1-2 所示。



图 1-2 电压的参考方向与正负值

1.1.2.3 电压、电流的关联参考方向

由于电流的参考方向和电压的参考方向的标注均具有任意性, 所以在计算电路时有必要规定二者的参考方向要取得一致, 即电流的参考方向是从电压的“+”极性端流入, 从“-”极性端流出, 并称此时二者参考方向是关联的 (或称负载惯例), 否则就是非关联的。

在电路的分析与计算中, 非关联参考方向时就需将其中一个物理量加负号。以电阻

为例, 关联参考方向时, $U = IR$ 或 $I = \frac{U}{R}$, 而非关联参考方向时, $U = -IR$ 或 $I = -\frac{U}{R}$, 如图 1-3 所示。

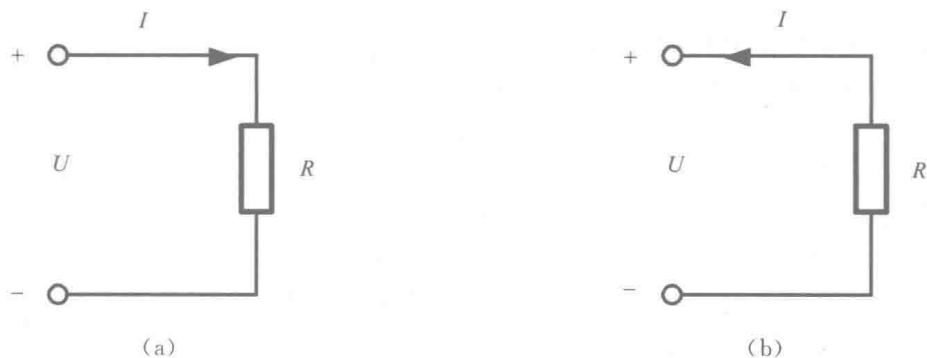


图 1-3 参考方向的一致性

【例 1-1】求图 1-4 中所示电路的电流 I 。

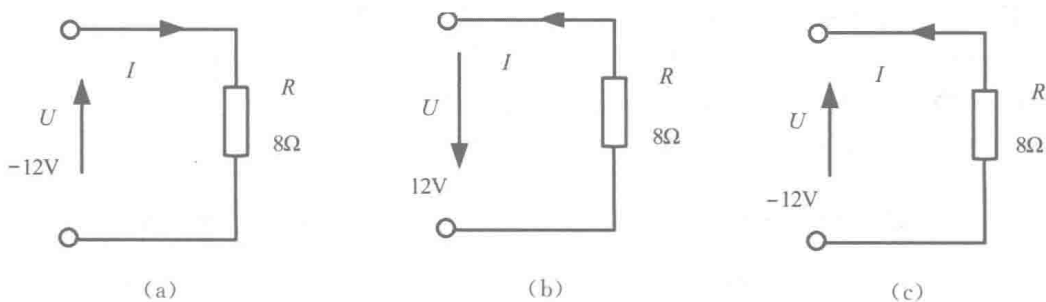


图 1-4 例 1-1 电路

解 在图 1-4 (a) 中, U 、 I 为非关联正方向

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{-12}{8} = 1.5(\text{A})$$

在图 1-4 (b) 中, U 、 I 为非关联正方向

$$I = -\frac{U}{R} = -\frac{12}{8} = -1.5(\text{A})$$

在图 1-4 (c) 中, U 、 I 为关联正方向

$$I = \frac{U}{R} = \frac{-12}{8} = -1.5(\text{A})$$

注意公式的正负号与电路物理量本身的正负值不要相混淆。

利用电压、电流参考方向也可用于确定元件是吸收还是发出功率。

正电荷是从电路元件的电压“+”极, 经元件移到电压“-”极, 是电场力对电荷做功的结果, 这是元件吸收能量。相反地, 正电荷是从电路元件的电压“-”极经元件移到电压“+”极, 元件向外发出能量。电路元件吸收或发出能量对时间的变化率就是电功率, 有时简称为功率。

如果通过某电路元件的电流是 i , 它两端的电压是 u , 设二者的参考方向是关联的。

根据电压的定义可知,当正电荷 dq 由 a 点移到 b 点时,这部分电路吸收的能量为

$$d\omega = u dq$$

又因

$$dq = i dt$$

故

$$d\omega = ui dt$$

这是这部分电路在时间 dt 内所吸收的电能。

在单位时间内这部分电路的电功率,用字母 p 表示,可得

$$p = \frac{d\omega}{dt} = ui \quad (1-1)$$

在国际单位制中,电功率的单位是瓦特,简称瓦(W)。

式(1-1)中, p 是电路吸收的功率,即在关联参考方向下, $p = ui$,若电压和电流在非关联参考方向下,则 $p = -ui$ 。当 $p > 0$ 时表示这部分电路吸收(消耗)功率,而 $p < 0$ 时表示这部分电路发出(供给)功率。

此外,还可以先不考虑电压和电流参考方向的关联与非关联,先计算出 $p = ui$ 的值,若电压和电流在关联参考方向下,当 $p > 0$ 时表示这部分电路吸收(消耗)功率,而 $p < 0$ 时表示这部分电路发出(供给)功率。若电压和电流在非关联参考方向下,则当 $p > 0$ 时表示这部分电路发出(供给)功率,而 $p < 0$ 时则这部分电路吸收(消耗)功率。

【例 1-2】 在图 1-5 中有两个电路元件,其电压均为 $U = 32(V)$,电流均为 $I = 0.1(A)$ 。判断两个电路元件在电路中是发出还是吸收功率。



图 1-5 例 1-2 电路

解 方法 1: 先考虑电压、电流的参考方向,图 1-5 (a) 中元件为关联参考方向, $P = UI = 32 \times 0.1 = 3.2(W)$, $P > 0$ 表明元件吸收功率。图 1-5 (b) 中元件为非关联参考方向, $P = -UI = 32 \times 0.1 = -3.2(W)$, $P < 0$ 表明元件发出功率。

方法 2: 先不考虑电压、电流的参考方向,计算 $P = UI = 32 \times 0.1 = 3.2(W)$,图 1-5 (a) 中元件为关联参考方向, $P > 0$ 表明元件吸收功率。图 1-5 (b) 中元件为非关联参考方向, $P > 0$ 表明元件发出功率。

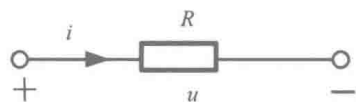
1.1.3 电路的基本元件

1.1.3.1 电阻元件

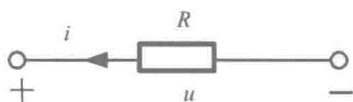
线性电阻(linear resistance)元件的电压与电流的关系(伏安特性)是一条过原点的直线,否则称为非线性电阻(nonlinear resistance)。

线性电阻 $R = \frac{u}{i}$

线性电阻符号如图 1-6 所示。



(a)



(b)

图 1-6 电阻元件

线性电阻伏安特性 $u = Ri$ (关联参考方向)

$u = -Ri$ (非关联参考方向)

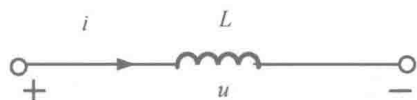
电阻的倒数称为电导 (conductance), 也是一个常用物理量, 用 G 表示, 单位为西门子 (S)。电导与电阻的关系为

$$G = \frac{1}{R}$$

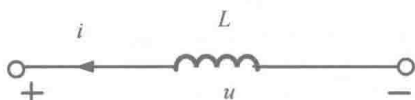
1.1.3.2 电感元件

电感 (inductance) 元件是一种能够贮存磁场能量的元件, 是实际电感器的理想化模型, 单位是亨利 (H)。

电感元件符号如图 1-7 所示。



(a)



(b)

图 1-7 电感元件

电感元件伏安特性 $u = L \frac{di}{dt}$ (关联参考方向)

$u = -L \frac{di}{dt}$ (非关联参考方向)

只有电感上的电流变化时, 电感两端才有电压。在直流电路中, 电感上即使有电流通过, 但 $u=0$, 相当于短路。

电感元件存储的磁场能量为

$$W = \frac{1}{2} Li^2 \text{ (J)}$$

1.1.3.3 电容元件

电容 (capacitance) 元件是一种能够贮存电场能量的元件, 是实际电容器的理想化模型, 单位是法拉 (F)。

电容元件符号如图 1-8 所示。

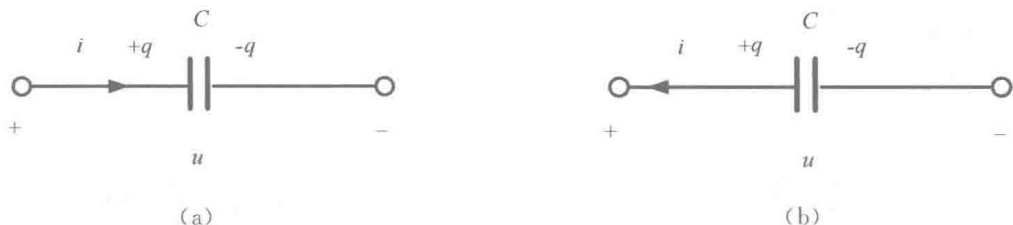


图 1-8 电容元件

电容元件伏安特性 $i = C \frac{du}{dt}$ (关联参考方向)

$i = -C \frac{du}{dt}$ (非关联参考方向)

只有电容上的电压变化时, 电容两端才有电流。在直流电路中, 电容上即使有电压, 但 $i=0$, 相当于开路, 即电容具有隔直作用。

电容元件存储的电场能量为

$$W = \frac{1}{2} Cu^2 \text{ (J)}$$

1.2 电压源与电流源及其等效变换

一个电源可以用两种不同的电路模型来表示。用电压形式表示的称为电压源, 用电流形式表示的称为电流源, 两种形式是可以相互转化的。

1.2.1 理想电压源 (恒压源)

电压源是一个二端元件, 其输出电压恒定不变, 含义是指其输出电压为给定数值或为给定的时间函数, 分别代表直流电压源和交流电压源。其端电压 U_s 由电源本身确定, 而与流过电压源的电流无关, 也与外接电路无关, 但其输出电流 I 及输出功率则由外电路决定。交流电压源在下一章学习, 本章学习直流电压源, 其图形符号如图 1-9 (a) 所示。元件的 U 、 I 关系称为伏安特性或外特性, 表示 U — I 关系的图形称为伏安特性曲线。直流电压源的伏安特性如图 1-9 (b) 所示。例如, 当电源设备对外电路提供电能时, 若它本身的功率损耗可以忽略不计, 就可近似认为该电源为理想电源, 它的特性可抽象为理想电源元件。

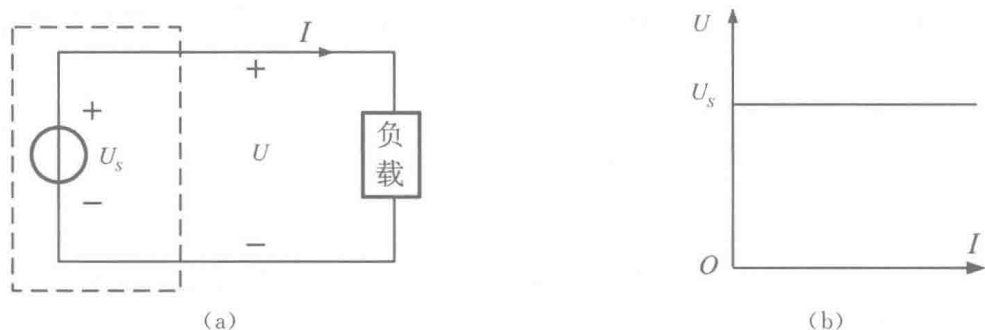


图 1-9 理想电压源及其伏安特性

1.2.2 理想电流源（恒流源）

电流源也是一个二端元件，其输出电流恒定不变，含义是指其输出电流为给定数值或为给定的时间函数，即分别代表直流电流源和交流电流源。其电流 I_S 由电源本身确定，而与电源两端的电压无关，也与外接电路无关，但它的端电压及功率由其所连接的外电路决定。直流电流源图形符号和伏安特性曲线如图 1-10 所示。

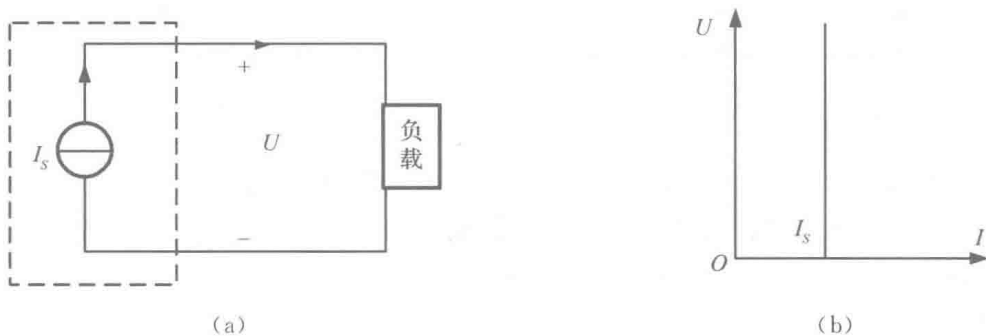


图 1-10 理想电流源及其伏安特性

1.2.3 理想电源的串并联

当多个恒压源串联向外电路提供电能时，可用一个恒压源等效代替，如图 1-11 所示。等效恒压源的电压 U_S 等于各串联恒压源电压的代数和，即

$$U_S = U_{S1} + U_{S2} + \cdots + U_{Sn}$$

与等效恒压源电压 U_S 的参考方向相反的各恒压源的电压应取负值。

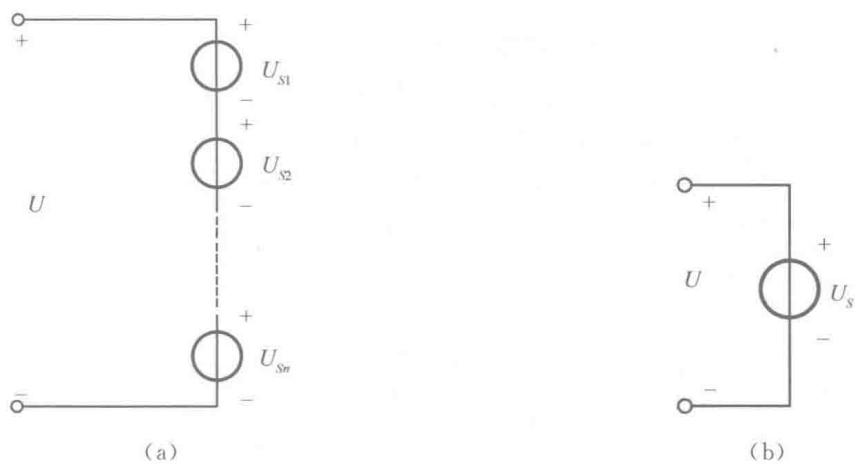


图 1-11 恒压源的串联

当多个恒流源并联时，亦可用一个恒流源来等效替代，如图 1-12 所示。等效恒流源的电流 I_S 等于各并联恒流源的代数和，即

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} + \cdots + I_{Sn}$$

与等效恒流源 I_S 的参考方向相反的各并联恒流源的电流应取负值。

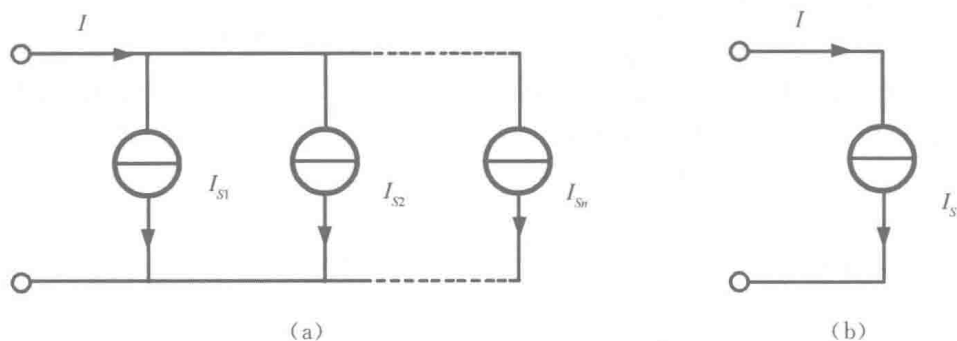


图 1-12 电流源的并联

以上两种等效是对电源以外的电路等效变换，即电源向外电路提供的电压和电流不变，对电源的内部并不等效。在本书中，如不特别说明下文提到的电压源均是指理想电压源（恒压源）、电流源均是理想电流源（恒流源）。

应该注意：

(1) 只有电压相等的电压源才允许并联；只有电流相等的电流源才允许串联。

(2) 一个电压源与若干电路元件并联，对外仍等效为一个电压源，即与电压源并联的元件在等效过程中视为开路。这是因为无论电压源外部并联多少元件，都不会影响其端电压的大小。

(3) 一个电流源与若干个电路元件串联，对外仍等效为一个电流源，即与电流源串联的元件在等效过程中视为短路。因为无论与电流源串联多少元件，都不会改变其输出电流的大小。

1.2.4 电压源电路与电流源电路的等效变换

任何一个电源设备，如电池或发电机都能输出恒定电压，但其内部又存在一定的损耗时，所以应该用一个电压源和一个电阻串联的电路来表示这个电源，该电路称电压源电路，电路如图 1-13 (a) 所示。 U 为电源端电压， I 是输出电流， U_S 是电压源电压， R_0 是电源内阻。它们之间的关系，根据 KVL 定律确定电路方程式 $U = U_S - IR_0$ ，伏安特性曲线如图 1-13 (c) 所示。

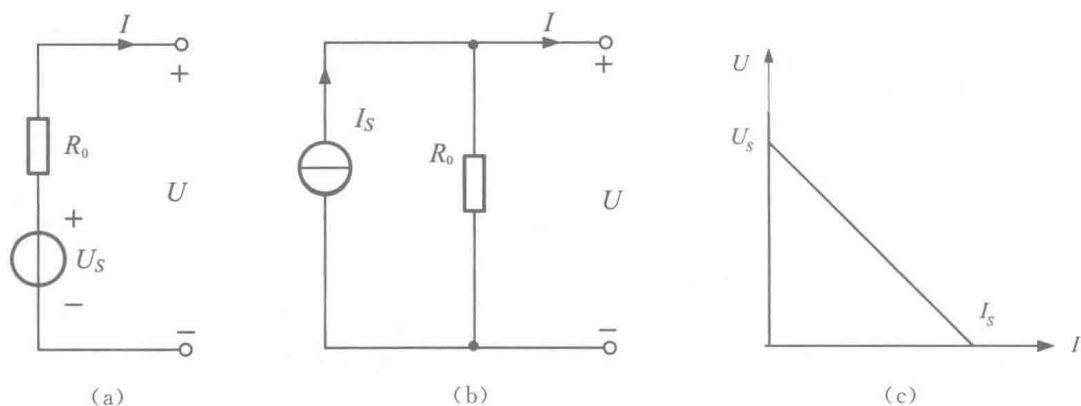


图 1-13 电压源电路与电流源电路的等效变换

如果一个电源（如光电池）能提供恒定电流，但其内损耗又不能忽略时，可用一个

电流源和一个电阻的并联电路来表示, 这个电路称电流源电路。电路如图 1-13 (b) 所示。 I_s 为电流源。根据 KCL 定律确定电路方程式 $I = I_s - \frac{U}{R_0}$, 伏安特性曲线也如图 1-13 (c) 所示。

实际电源可以模拟为电压源 U_s 和内阻 R_0 串联的形式, 也可模拟为电流源 I_s 和内阻 R_0 并联的形式。如果是同一个实际电源, 那么这两种形式所反映的外特性是相同的, 所以这两种形式之间必然可以对外电路等效变换, 等效条件为 $U_s = I_s R_0$, $I_s = \frac{U_s}{R_0}$, 且两种电源模型的内阻相等, 只是连接方式不同。

等效变换时应注意的问题:

- (1) 等效变换时电流源的电流流出端应与电压源的正极端相对应。
- (2) 电压源与电流源之间不存在等效变换关系, 只有电压源电路与电流源电路之间才能等效变换。
- (3) 等效变换是对外电路等效时成立, 对电源内部是不等效的。例如, 当外电路开路时电压源模型中是无电流的, 而电流源模型中仍有内部电流。

【例 1-3】 求图 1-14 (a) 中的端电压 U_{ab} = ?

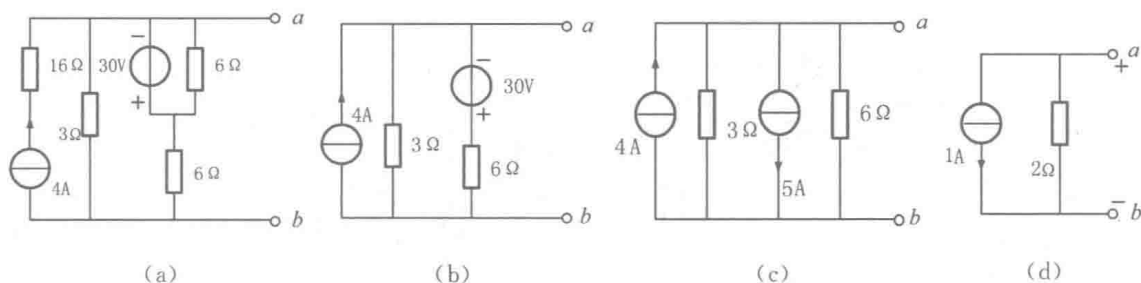


图 1-14 例 1-3 电路

解 从电源模型分析, 与电压源串联的电阻以及与电流源并联的电阻才相当于电源的内阻。在图中与 30V 电压源并联的 6Ω 电阻并非它的内阻。因为这个并联电阻的大小以及存在与否, 并不影响其本身的端电压, 其值恒为 30V, 因此这个电阻可以去掉。

同样, 16Ω 这个电阻也可以去掉, 这样图 1-14 (a) 可以等效为图 1-14 (b)。再将 30V 的电压源与 6Ω 电阻串联视作电压源并且等效变换成电流源, 得到图 1-14 (c), 其中激励电流 $I_{s1} = \frac{30}{6} = 5$ (A)。合并电流源, 并将并联电阻化为等效电阻, 得到图 1-14 (d), 所以

$$U_{ab} = -(1 \times 2) = -2(\text{V})$$

【例 1-4】 试用电压源电路与电流源电路等效变换的方法计算图 1-15 (a) 中电阻 1Ω 两端的电压 U 。

将原电路通过等效变换后变为图 1-15 (b), 可得