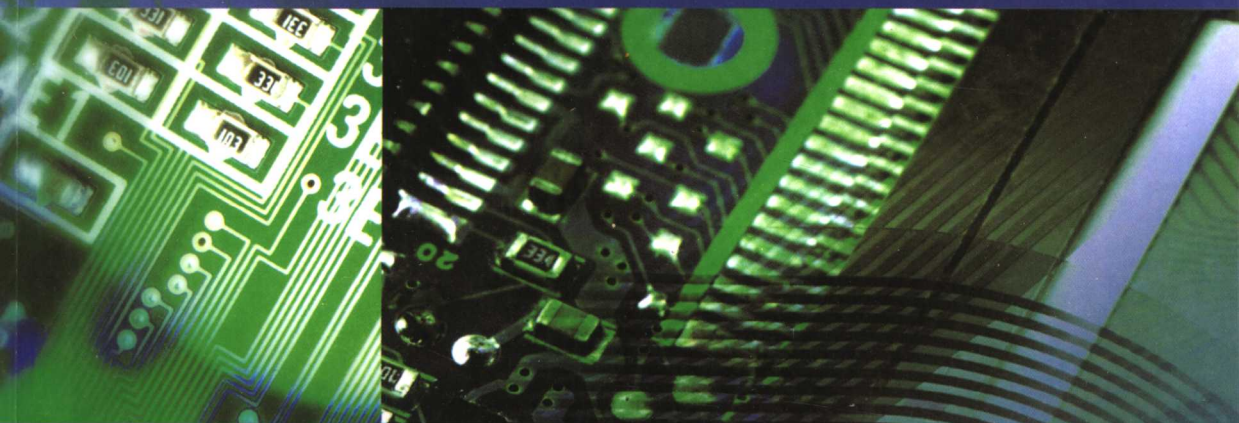


高等学校教材

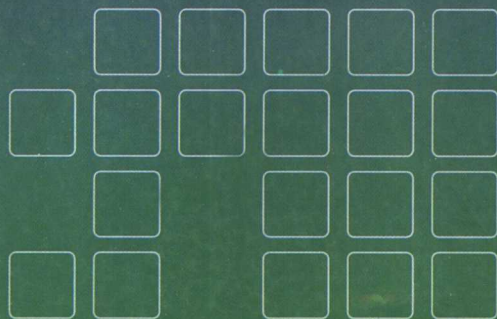
电路与电子技术

(第二版)

方玲丽 吴敏 甘剑华 任立红 编著



D I A N L U Y U D I A N Z I J I S H U



东华大学出版社

电路与电子技术

(第二版)

方玲丽 吴 敏 甘剑华 任立红 编著

东华大学出版社

内 容 简 介

本书讲述“电工技术”和“电子技术”的基本知识、基本理论和基本应用。全书共分9章:第1章至第4章分析稳态电路和暂态电路,第5章介绍常用半导体器件及其应用,第6章介绍模拟电路,第7章介绍集成运算放大器及其应用,第8章和第9章介绍数字电路。全书各章节配有练习与思考题及习题。

本书是为高等学校非电类专业学生编写的少学时教科书,也可供其他工科专业选用和广大读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/方玲丽等编著. —2版. —上海:东华大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81111-274-0

I. 电… II. 方… III. ①电路理论-高等学校-教材
②电子技术-高等学校-教材 IV. TM13 TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128305 号

责任编辑 邵 静

封面设计 林 峰

电路与电子技术 (第二版)

方玲丽 吴 敏 甘剑华 任立红 编著

东华大学出版社出版

上海市延安西路 1882 号

邮政编码:200051 电话:021-62193056

新华书店上海发行所发行 苏州望电印刷有限公司印刷

2007年9月第2版 2007年9月第1次印刷

开本:787×960 1/16 印张:21.25 字数:381千字

印数:0 001—4 000

ISBN 978-7-81111-274-0/TM·001

定价:33.00 元

再版序言

本书参照教育部(原国家教育委员会)1995年颁布的“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”课程教学基本要求作为编写本教材的基本依据,同时结合我校教学改革的实践及对非电类专业教学的不同需求组织教材内容。当然也受到部分非电类专业对学时数的限制,我们总结以往的教学经验,以及教学效果以后,就电路与电子技术基本内容为主要教学内容,编写了70学时(含实验)左右的少学时“电工学”教材。

根据多年教学实践的探索和研究,分析教学的实际效果,在广泛听取已完成“电工学”少学时课程学习的学生与专业课教师意见的基础上,本书将“电工技术(电工学Ⅰ)”的教学内容中则安排了稳定电路分析和暂态电路分析,在“电子技术(电子学Ⅱ)”的教学内容中强调了对数字电路的介绍。

《电工学》作为高等学校非电类专业的技术基础课,根据非电类专业少学时课程教学的主要内容和重点,力求放在基础知识、基本理论的学习上和基本技能的训练与培养上。通过本课程的学习,使学生能为学习后续课程以及从事与专业有关的工程技术和学科研究等工作打下一定的基础。

本教材由方玲丽负责全书的组织、统校和定稿工作。参加编写工作的有:方玲丽编写第1,2,3,7章,甘剑华编写第4,5章,任立红编写第6章,吴敏编写第8,9章。

再版中对教学过程中发现的一些错误进行了修改和修正,为便于学生自学,适当的增加了一些例题和补充了一些新的内容。随着计算机技术的发展以及人们对计算机的广泛使用,掌握数字电路知识的要求尤为重要,再版教材加强了这方面的内容。

参予再版工作的有方玲丽、甘剑华、任立红,由于作者水平有限,书中错误与不足之处在所难免,殷切希望使用本教材的师生和其他读者给予批评指正,以便今后修改提高。

作者

2007年8月

目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的作用及组成	1
1.2 电路元件与电路模型	2
1.2.1 理想电路元件	2
1.2.2 实际电源及其等效变换	5
1.3 简单电路的分析及基本物理量介绍	9
1.3.1 简单电路和复杂电路	9
1.3.2 电路中的基本物理量及其参考方向	10
1.4 电气设备额定值和电路的工作状态	18
1.4.1 电气设备的额定值	18
1.4.2 电路的工作状态	19
1.5 基尔霍夫定律	21
1.5.1 基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Curren Law)	21
1.5.2 基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law)	23
1.6 支路电流法	26
1.7 结点电压法	29
1.8 叠加原理	31
1.9 等效电源定理	33
1.9.1 戴维宁定理(Thevenin's theorem)	34
1.9.2 诺顿定理(Norton's theorem)	36
第 2 章 正弦交流稳态电路	44
2.1 正弦交流电的基本概念	44
2.1.1 交流电的周期、频率和角频率	45
2.1.2 交流电的瞬时值、最大值、有效值	45
2.1.3 交流电的相位、初相位、相位差	47
2.2 正弦交流电的相量表示法	49
2.3 单一参数的正弦交流电路	54

2.3.1 纯电阻电路	54
2.3.2 纯电感电路	56
2.3.3 纯电容电路	60
2.4 串联交流电路	64
2.5 阻抗的串联与并联	73
2.5.1 阻抗串联电路	74
2.5.2 阻抗并联电路	76
2.6 电路的功率因数	79
2.7 电路中的谐振	82
2.7.1 串联谐振	82
2.7.2 并联谐振	86
第3章 三相电路	96
3.1 三相电源	96
3.1.1 三相电源的星形联结	96
3.1.2 三相电源的三角形联结	98
3.2 三相电路的计算	99
3.2.1 三相负载的星形联结	99
3.2.2 三相负载的三角形联结	103
3.2.3 三相电路的功率	105
第4章 电路的暂态分析	111
4.1 暂态分析的基本概念	111
4.1.1 稳态和暂态	111
4.1.2 激励和响应	112
4.2 换路定则与电压和电流初始值的确定	113
4.2.1 换路定则	113
4.2.2 电压和电流初始值的确定	113
4.3 RC 电路的暂态分析	115
4.3.1 一阶 RC 电路暂态过程的微分方程	115
4.3.2 RC 电路的时域响应	117
4.4 求解一阶电路的三要素法	118
4.5 微分电路和积分电路	121
4.5.1 微分电路	121

4.5.2 积分电路	122
第5章 半导体器件	128
5.1 半导体的基础知识	128
5.1.1 本征半导体	128
5.1.2 杂质半导体	128
5.1.3 PN结的形成及特性	129
5.2 半导体二极管	130
5.2.1 基本结构	130
5.2.2 伏安特性	131
5.2.3 主要参数	132
5.2.4 整流电路	133
5.3 特殊二极管	138
5.3.1 稳压二极管	139
5.3.2 光电二极管	140
5.3.3 发光二极管	140
5.4 集成稳压器	141
5.5 半导体三极管	142
5.5.1 基本结构	142
5.5.2 电流分配及电流放大作用	143
5.5.3 特性曲线	144
5.5.4 主要参数	146
第6章 基本放大电路	151
6.1 基本放大电路的组成	151
6.1.1 放大电路的组成	151
6.1.2 放大电路的简化	152
6.2 放大电路的静态分析	153
6.2.1 放大电路的直流通路确定静态值(估算法)	154
6.2.2 图解法确定静态值	154
6.3 放大电路的动态分析	157
6.3.1 放大电路的主要性能指标	157
6.3.2 放大电路的图解分析法	160
6.3.3 放大电路的微变等效电路法	162

6.4 共射放大电路	167
6.4.1 固定偏置电路	167
6.4.2 分压式偏置电路	168
6.4.3 静态分析	169
6.4.4 动态分析	170
6.5 共集放大电路	172
6.6 共基放大电路	175
6.7 多级放大电路	176
6.7.1 阻容耦合	176
6.7.2 直接耦合	179
6.8 差分放大电路	180
6.8.1 工作原理	180
6.8.2 典型差分放大电路	182
6.8.3 双端输入-双端输出动态分析计算	183
6.8.4 单端输入-单端输出	185
6.8.5 共模抑制比	186
第7章 集成运算放大器	193
7.1 集成运算放大器简介	193
7.1.1 集成运放的组成	193
7.1.2 集成运放的主要参数	194
7.1.3 理想运算放大器	196
7.2 集成运放中的负反馈	198
7.2.1 反馈的基本概念	198
7.2.2 反馈的分类	199
7.2.3 反馈类型的判别	200
7.3 负反馈对运放电路性能的影响	203
7.3.1 提高放大倍数的稳定性	203
7.3.2 改善非线性失真	203
7.3.3 展宽通频带	204
7.3.4 对放大电路输入电阻和输出电阻的影响	204
7.4 集成运放在模拟信号运算方面的应用	205
7.4.1 比例运算电路	205

7.4.2	加法运算电路	208
7.4.3	减法运算电路	210
7.4.4	积分运算电路	211
7.4.5	微分运算电路	214
7.5	电压比较器	217
7.5.1	基本电压比较器	217
7.5.2	滞回电压比较器	219
第8章	组合逻辑电路	227
8.1	数字电路简介	227
8.1.1	处理信号是脉冲信号	227
8.1.2	半导体元件处于开关状态	228
8.1.3	二进制	229
8.1.4	正逻辑与负逻辑	229
8.2	基本门电路	229
8.2.1	“或”门电路	230
8.2.2	“与”门电路	230
8.2.3	“非”门电路	231
8.2.4	其他逻辑运算与复合门	232
8.3	集成门电路	233
8.3.1	TTL“与非”门电路	233
8.3.2	三态“与非”门	235
8.4	逻辑代数及应用	236
8.4.1	逻辑代数的基本定律	236
8.4.2	布尔代数的应用	237
8.5	组合逻辑电路分析与综合	239
8.5.1	组合逻辑电路的分析	239
8.5.2	组合逻辑电路的综合	241
8.6	常用组合逻辑电路	243
8.6.1	加法器	243
8.6.2	编码器	245
8.6.3	译码器	249
8.6.4	数字比较器	256

8.6.5 数据选择器(多路转换器)	257
8.6.6 数据分配器	258
第9章 触发器和时序逻辑电路	266
9.1 双稳态触发器	266
9.1.1 RS 触发器	266
9.1.2 主从型 JK 触发器	270
9.1.3 维持阻塞型 D 触发器	273
9.1.4 触发器逻辑功能的转换	275
9.2 寄存器	276
9.2.1 数码寄存器	277
9.2.2 移位寄存器	278
9.3 计数器	280
9.3.1 二进制计数器	280
9.3.2 十进制计数器	284
9.4 集成 555 定时器	289
9.4.1 555 集成定时器	289
9.4.2 由 555 集成定时器组成的单稳态触发器	291
9.4.3 由 555 集成定时器组成的多谐振荡器	293
部分习题解答	304
附录	313
中英名词对照	321
参考书目	328

第1章 直流电路

本章在物理学的基础上讨论电路的基本知识、基本定律和定理,以及介绍应用这些基本定律和定理分析和计算电路的基本方法。

1.1 电路的作用及组成

电路,简言之就是电流所经之路。电路是由若干电气设备和元器件以一定方式构成的通路。

有时将复杂的电路称为网络或系统。

电路的基本作用可以概括为两大类:一类是实现电能的输送和转换。如发电厂的发电机把热能或原子能转换为电能,通过输电线输送到车间,再转换为机械能(纺纱机、织布机、印染机等)、光能(照明灯)。图 1.1.1 所示的电路是最简单的照明电路。电池把化学能转换成电能供给照明灯,照明灯再把电能转换成光能用于照明。对于这类电路而言,要求它具有较小的能量损耗和较高的效率传送电能。另一类是实现信息的处理与传递。如半导体收音机中的接收电路、调谐电路、放大电路、振荡电路、检波电路等组成的复杂电路对信号进行处理和传递。图 1.1.2 所示的电路是用热电偶测量温度的电路。热电偶把热信号(温度)转换成电信号(温差电动势),然后通过毫伏表指针偏转角度的大小,测出温度的高低。这类电路能量的传输和转换数量很小,而主要考虑的问题是既准确又迅速地传递信号和处理信号。

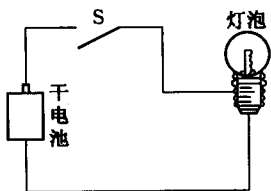


图 1.1.1 照明电路

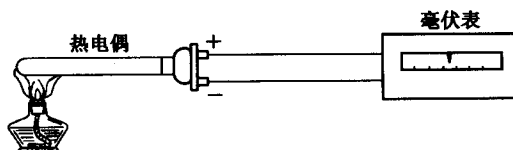


图 1.1.2 热电偶测温电路

实际电路的形式繁多,作用也各不相同,但它们都由三个主要部分组成,即电

源、负载和中间环节。

电源是提供电能的装置。它将非电能转换为电能或者把电能转换为另一种形式的电能或信号的装置。常见的如干电池、发电机、信号源、整流电源、变频电源及UPS不间断电源。

负载是取用电能的设备和器件。它将电能转换成其他形式的能量。如电灯、电炉、电动机、水泵、扬声器等。

中间环节是连接电源和负载的部分。它起传送、分配和控制电能的作用。如连接电源与负载的传输线、开关、熔断器等。

1.2 电路元件与电路模型

实际电路都是由一些具体的电气元件和电气设备组成,把这些具体的电气元件和电气设备统称为实际的电路元件。由于实际电路元件的种类各色各样,而且它们的电磁性质也比较复杂,为了简化问题的分析,把它们的电磁性质进行科学的抽象和概括。

在电路理论上,为了表征主要物理性质而忽略其次要性质,以便进行定量分析,通常将电路中各个实际的电路元件都用表征其物理性质的理想电路元件来代替。

1.2.1 理想电路元件

实际电路元件的物理性质,从能量转换的角度来看,有电能的产生,电能的消耗及电场能量和磁场能量的储存。理想电路元件只是用来表征这些单一物理性质的元件,它们分为理想无源元件和理想电源元件两大类。理想无源元件包括理想电阻元件、理想电感元件和理想电容元件三种。

为简便起见,常把理想电阻元件简称为电阻元件(或电阻),理想电感元件简称为电感元件(或电感),理想电容元件简称为电容元件(或电容)。电阻是表征具有消耗电能性质的理想元件,电感是表征电路中具有储存磁场能性质的理想元件,电容是表征电路中具有储存电场能性质的理想元件。这些理想电路元件只集中体现一种物理性质。

各种理想元件均可用国家规定的图形符号和文字符号来表示。理想电阻元件是表征实际电路元件消耗电能,电阻又称耗能元件,其图形符号如图1.2.1(a)所示。理想电感元件是表征实际电路元件以磁场形式储存能量,其图形符号如

图 1.2.1(b)所示。理想电容元件是表征实际电路元件以电场形式储存能量,其图形符号如图 1.2.1(c)所示。电感、电容又统称为储能元件。

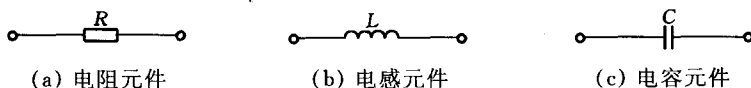


图 1.2.1 理想无源元件

电阻、电感、电容这三种理想无源元件都只具有一种参数,称为单一参数元件,单一参数元件的参数都是恒定不变的常数,不随电流、电压和频率的变化而变化,即所谓的线性元件。由线性元件和电源元件组成的电路,称为线性电路。

理想电源元件是从实际电源元件中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可以忽略不计,而只起产生电能的作用时,这种电源便可以用理想电源元件来表示。理想电源元件有理想电压源和理想电流源两种。

理想电压源(或称恒压源)的输出电压 U 是由其本身确定的定值,与输出电流和外电路的情况无关;而输出电流 I 不是定值,与输出电压和外电路的情况有关。恒压源符号如图 1.2.2(a)所示,图 1.2.2(b)表示恒压源输出电压与输出电流之间的关系,称为伏安特性。

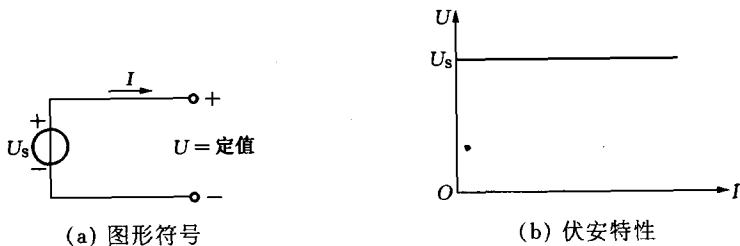


图 1.2.2 理想电压源

根据理想电压源的特点,可知,凡与理想电压源并联的元件(包括理想电流源在内)两端的电压都等于理想电压源的电压。

实际的电源,如蓄电池,当其内部功率损耗可以忽略不计时,便可以用理想电压源代替。其输出电压 U 就等于蓄电池的电动势 E 。

理想电流源(或称恒流源)的输出电流 I 是由它本身确定的定值,与输出电压和外电路的情况无关;而输出电压 U 不是定值,与输出电流和外电路的情况有关。恒流源符号如图 1.2.3(a)所示,图 1.2.3(b)是它的伏安特性。

根据理想电流源的特点,可知,凡与理想电流源串联的元件(包括理想电压源

在内),其电流都等于理想电流源的电流。

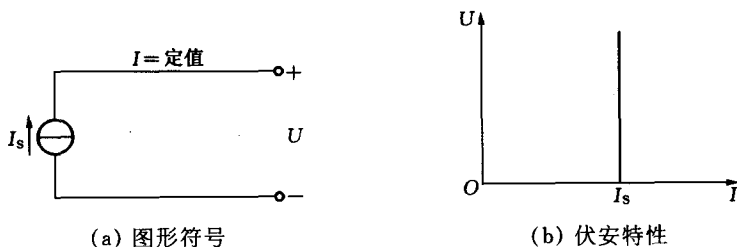


图 1.2.3 理想电流源

实际的电源,如光电池,在一定强度的光照下,能产生一定的电流,称为电激流。当其内部的功率损耗可以忽略不计时,便可以用理想电流源来代替,其输出电流就等于光电池的电激流。

蓄电池作为一个实际的电源元件,当它将化学能转换成电能供给负载时,是一个电源;而当它处于充电状态时,将输入电能转换成化学能,它又是一个负载。因此,理想电源元件也有两种工作状态。

用理想电路元件代替实际电路元件组成的电路称为电路模型,它是实际电路的一种等效表示,故有时也称为等效电路。如图 1.2.4 分别是图 1.1.1 照明电路和图 1.1.2 热电偶测温电路的电路模型。

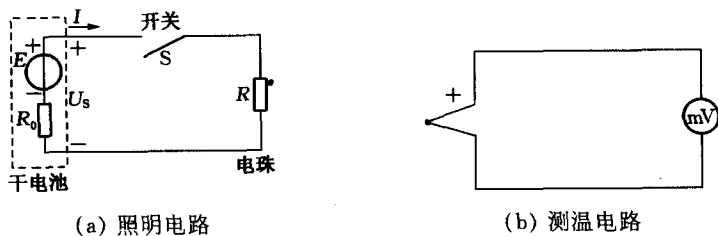


图 1.2.4 电路模型

[例 1.2.1] 如图 1.2.5 所示电路中,已知理想电压源的电压 $U_s = 5\text{ V}$, 理想电流源的电流 $I_s = 5\text{ A}$, 电阻 $R = 2\ \Omega$, 试求理想电压源的电流和理想电流源两端的电压。

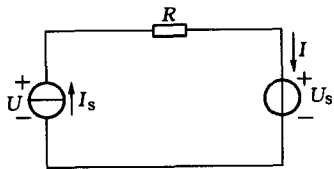


图 1.2.5 例 1.2.1 的电路

[解] 电路中理想电压源与理想电流源串联,与理想电流源串联元件(包括电压源在内),其电流均等于理想电流源的电流,故理想电压源的电流

$$I = I_s = 5 \text{ A}$$

根据电流的方向,可知电流源两端的电压

$$U = RI_s + U_s = (2 \times 5 + 5) \text{ V} = 15 \text{ V}$$

1.2.2 实际电源及其等效变换

一个实际电源的特性可以用理想电源元件和电阻元件的组合来表征。图 1.2.6(a)是实际电源向外部负载电阻 R_L 输出电压 U 和电流 I 。当电阻 R_L 断开时,输出电流 $I = 0$, 端电压 $U = U_s$ 。当 R_L 减小时,电流将增大,电源内阻 R_o 的电压也增加,使输出电压 U 下降。因此,用理想电压源 U_s 和代表内阻为 R_o 的电阻元件串联组成的模型(称为电压源模型)来表示实际电源,如图 1.2.6(b)所示。其电路中电流、电压的关系为

$$I = \frac{U_s}{R_o + R_L} \quad (1.2.1)$$

$$U = U_s - R_o I \quad (1.2.2)$$

由图 1.2.6(b)及式(1.2.2)可认为,该电源以电压 U 的形式向负载 R_L 供电,负载功率为 $P = \frac{U^2}{R_L}$, 与电压有关,在不改变电源的性质和功能的情况下,将式(1.2.2)改写为

$$I = \frac{U_s - U}{R_o}$$

或

$$I = \frac{U_s}{R_o} - \frac{U}{R_o} \quad (1.2.3)$$

并设 $\frac{U_s}{R_o} = I_s$, $\frac{U}{R_o} = I_o$, 式(1.2.3)可改写为

$$I = I_s - I_o \quad (1.2.4)$$

根据式(1.2.4)可对应画出如图 1.2.6(c)所示的等效电路,由图 1.2.6(c)及式(1.2.4)可认为,该电源是以电流 I 的形式向负载供电,负载功率为 $P = I^2 R_L$, 只与电流 I 有关。

从图 1.2.6(c)可知, $I_s = \frac{U_s}{R_o}$ 是电源内部产生的恒定电流,其中一部分 $I_o =$

$\frac{U}{R_o}$, 在电源内部被电阻 R_o 分流,其余部分 $I = I_s - I_o$ 流出电源供给负载。

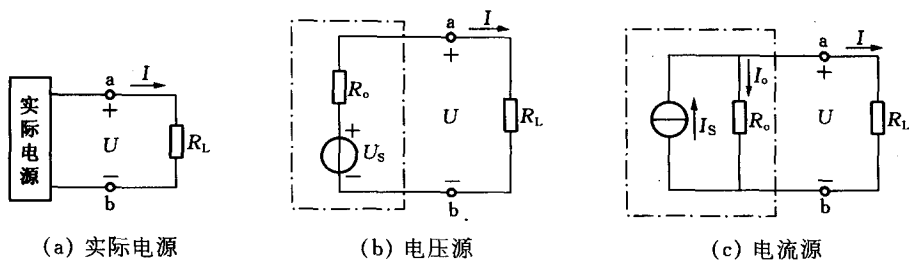


图 1.2.6 实际电源的电压源和电流源

由此可见,一个实际电源既可以采用电压源来表示(U_s 和 R_o 串联),也可以采用电流源来表示(I_s 和 R_o 并联)。对电源外部的负载而言,两种形式是等效的。也就是说,电压源和电流源可以等效变换。它们等效变换的条件是

$$I_s = \frac{U_s}{R_o} \quad \text{或} \quad U_s = R_o I_s \quad (1.2.5)$$

在变换过程中,电压源的 U_s 和电流源的 I_s 方向必须保持一致,如图 1.2.6(b)、(c)所示的方向,使负载电流的方向保持不变。

【例 1.2.2】 如图 1.2.7(a)所示电路中,已知 $I_s = 20 \text{ A}$, $R_o = 0.4 \Omega$, $R_L = 6 \Omega$, 试画出与其等效的电压源电路,并分别求电压 U 和 I 以及电源内阻 R_o 的压降。

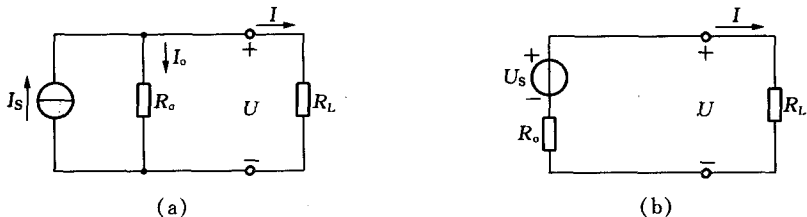


图 1.2.7 例 1.2.2 的电路

【解】 根据电源等效变换条件

$$U_s = R_o I_s = (0.4 \times 20) \text{ V} = 8 \text{ V}$$

等效的电压源如图 1.2.7(b)所示。

在图 1.2.7(a)中

$$I = \frac{R_o}{R_o + R_L} I_s = \left(\frac{0.4}{0.4 + 6} \times 20 \right) \text{ A} = 1.25 \text{ A}$$

$$U = R_L I = (6 \times 1.25) \text{ V} = 7.5 \text{ V}$$

内阻压降

$$U_{R_o} = \frac{U}{R_o} R_o = 7.5 \text{ V}$$

在图 1.2.7(b)中

$$I = \frac{U_s}{R_o + R_L} = \frac{8}{0.4 + 6} \text{ A} = 1.25 \text{ A}$$

$$U = R_L I = (6 \times 1.25) \text{ V} = 7.5 \text{ V}$$

内阻压降

$$U_{R_o} = R_o I = (0.4 \times 1.25) \text{ V} = 0.5 \text{ V}$$

由上例分析可知,电压源和电流源对外电路而言,相互间是等效的,但对电源内部是不等效的。采用两种电源等效变换的方法,可以简化电路,给分析和计算带来方便。

理想电压源和理想电流源之间没有等效的关系。因为理想电压源内阻 $R_o = 0$, 其短路电流 I_s 为无穷大,

$$I_s = \frac{U_s}{R_o} = \infty$$

这样的电流源是不存在的。而理想电流源内阻 $R_o = \infty$, 其开路电压 U_o 为无穷大

$$U_o = R_o I_s = \infty$$

得不到有限的数值,故理想电压源和理想电流源之间不存在等效变换的条件。

[例 1.2.3] 试用电压源与电流源等效变换的方法计算图 1.2.8(a)中 3Ω 电阻上的电流 I 。

[解] 根据图 1.2.8 的变换次序,化简为图 1.2.8(f)的电路,求出 I 的值。

$$I = \left(\frac{2}{2+3} \times 5 \right) \text{ A} = 2 \text{ A}$$

若将图 1.2.8(f)所示电流源变换为图 1.2.8(g)所示电压源,求 I 的值。

$$I = \left(\frac{10}{2+3} \right) \text{ A} = 2 \text{ A}$$