

高等医学院校创新教材

供影像、信息、检验和临床医学等
医学类专业用

医用电子技术 简明教程

○主 编 宋效先

 人民卫生出版社

高等医学院校创新教材
供影像、信息、检验和临床医学等医学类专业用

医用电子技术简明教程

名誉主编 秦任甲

主 编 宋效先

副主编 张盛华 杨 颖 王伟平

编 者 (以姓氏笔画为序)

王伟平 计晶晶 宋效先 张洪亮 张盛华

杨 颖 贺德麟 秦任甲 黄健伟

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医用电子技术简明教程/宋效先主编. —北京: 人民卫生出版社, 2007. 3

ISBN 978-7-117-08510-6

I. 医… II. 宋… III. 医用电子学—医学院校—教材
IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 021784 号

医用电子技术简明教程

主 编: 宋效先

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19

字 数: 452 千字

版 次: 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-08510-6/R·8511

定 价: 37.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

前言

电子技术在医学中的应用越来越广泛,医学生学习医学电子技术基础知识的要求也日益迫切,本教材就是根据高等医学院校陆续开设医学电子技术课程的需要而编写的。

医学生学习该课程的主要目的是使他们在医疗和科研中涉及到电子仪器和开展新技术时,具有基本的电子学知识,同时也能使他们了解一些医疗电子仪器的基本工作原理与工作过程。

从医学院校的角度来说,医学电子课程是一门技术基础课,而医学电子技术必须及时反映电子技术在医学领域的飞速发展,但该课的理论教学课时通常只有 36~72 学时,这就要求本书必须是一本简明教程,以确保知识的完整性和有较高的教学效率。

本教材由河北北方学院、桂林医学院、包头医学院、广西右江民族医学院、广西河池学院和湖北中医学院联合编写。值得说明的是,本书最初是由秦任甲教授倡议并亲自组织编写,但由于秦教授视力健康的原因,不能继续胜任该书的主编工作,由宋效先任主编,秦教授任名誉主编,共同完成该书的编写工作。在这里我们非常感谢秦教授为该书的筹划和编写付出的辛勤劳动。

本书在编写过程中,得到了河北北方学院、桂林医学院、包头医学院、广西右江民族医学院和广西河池学院有关领导的指导和帮助,也得到了上述院校医学物理教研室和相关科室领导和老师们的支持,同时在出版过程中,得到了人民卫生出版社有关领导和工作人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢!

本教材可供医学影像、医学检验、医学信息管理与系统专业作教材,还可供临床医学等专业作选修课教材,同时可供医学院校乐于自学医学电子技术的师生作参考书。

我们对医学电子技术的教学还处在不断地探索中,医学知识及电子技术知识也在不断更新,本教材虽经多次审改,仍难免有不妥之处,恳请使用本教材的师生批评指正。

编者

2006 年 12 月

目 录

第一章 电路分析基础	1
第一节 直流电路	1
一、电路的基本概念	1
二、基尔霍夫定律	1
三、电压源和电流源	3
四、戴维南定理	6
第二节 电路的暂态过程	7
一、RC 电路的暂态过程	8
二、RL 电路的暂态过程	11
第三节 交流电路	14
一、正弦交流电	14
二、R、C、L 在交流电路中的特性	15
三、RLC 串联电路及其谐振	17
四、RLC 并联谐振电路	19
习题	20
第二章 半导体器件的基本知识	23
第一节 晶体二极管	23
一、半导体基本知识	23
二、晶体二极管	25
三、稳压管	27
第二节 晶体三极管	28
一、三极管的结构与符号	28
二、三极管的放大作用	29
三、三极管的特性曲线	30

四、三极管的工作区域	31
五、三极管的主要参数	31
第三节 场效应管	32
一、绝缘栅型场效应管的结构	32
二、工作原理和特性曲线	33
三、MOS 管的主要参数	36
习题	36
第三章 基本放大电路	38
第一节 共发射极基本放大电路	38
一、共发射极基本放大电路的组成	38
二、基本放大电路的工作原理	39
三、放大电路的主要性能指标	40
四、放大电路的基本分析方法	42
五、用图解法分析非线性失真	46
六、微变等效电路分析法	47
七、静态工作点的稳定	49
第二节 共集电极放大电路	51
一、电路的组成	51
二、工作原理	51
三、射极输出器的应用	53
第三节 多级放大器	53
一、多级放大电路的耦合方式	53
二、多级放大电路的电压放大倍数的计算	55
习题	57
第四章 几种常用的放大器	61
第一节 负反馈放大器	61
一、反馈的基本概念和分类	61
二、几种负反馈放大器	62
三、负反馈对放大器性能的影响	65
四、负反馈放大器的简单分析	68
第二节 直流放大器	69
一、直流放大器的级间耦合	69
二、差分放大器	70
第三节 功率放大器	74
一、功率放大器的特点	74
二、推挽功率放大器	74
三、互补对称功率放大器	75
四、集成功率放大器	76
习题	77

第五章 集成运算放大器	79
第一节 集成运放的基本知识	79
一、集成运放的组成及符号表示	79
二、集成运放的主要技术指标	80
三、集成运放的理想模型	82
第二节 集成运放的基本电路	83
一、反相放大器	83
二、同相放大器	85
三、差动输入放大器	86
第三节 集成运放的应用	87
一、集成运放的线性运用	87
二、集成运放的非线性运用	90
三、集成运放在医学上的应用	93
习题	95
第六章 振荡与调制	98
第一节 正弦波振荡器	98
一、自激振荡的基本概念	98
二、自激振荡的条件	99
三、正弦波振荡器的组成	99
第二节 RC 正弦波振荡器	100
一、RC 串、并网络的频率特性	100
二、RC 串并式正弦波振荡器	102
第三节 LC 正弦波振荡器	103
一、LC 并联回路的选频特性	103
二、变压器反馈式 LC 振荡器	104
三、电感三端式振荡器	105
四、电容三端式振荡器	106
第四节 石英晶体正弦波振荡器	107
一、石英谐振器	107
二、石英晶体振荡器	108
第五节 调幅和检波	109
一、调幅波的基本概念	109
二、三极管基极调幅电路	110
三、二极管幅度检波电路	112
习题	113
第七章 直流电源	115
第一节 概述	115
一、直流电源的主要组成部分	115
二、直流电源的特点	116

第二节 整流滤波电路	116
一、整流电路	116
二、滤波电路	119
第三节 直流稳压电源	123
一、硅稳压管稳压电路	123
二、串联型晶体管稳压电源	124
三、集成稳压电源	127
四、稳压电源的主要性能指标	129
第四节 直流电压变换器	130
一、直流电压变换器的基本原理	130
二、推挽式直流电压变换器	131
三、直流电源在医学仪器中的应用	132
习题	134
第八章 门电路和组合逻辑电路	135
第一节 数字电路概述	135
一、数字电路的特点	135
二、数字电路的分类	135
三、数制和码制	135
第二节 逻辑函数	138
一、逻辑函数	138
二、三种基本逻辑运算	138
三、几种常用的复合逻辑运算	140
四、逻辑代数的运算规则	141
五、逻辑函数的化简	142
六、逻辑函数的表示方法及其互换	147
第三节 基本门电路	148
一、晶体管的开关作用	148
二、分立元件逻辑门电路	149
三、集成逻辑门电路	151
第四节 组合逻辑电路	158
一、组合逻辑电路的特点与分析方法	158
二、编码器	158
三、译码器	159
四、加法器	163
五、数据选择器	165
习题	166
第九章 时序逻辑电路	169
第一节 概述	169
一、时序逻辑电路的组成	169

二、时序逻辑电路的分类	169
第二节 触发器	170
一、基本 RS 触发器	170
二、同步 RS 触发器	173
三、主从 RS 触发器	176
四、主从 JK 触发器	177
五、利用传输延迟的边沿 JK 触发器	180
六、维持-阻塞边沿 D 触发器	181
七、触发器之间的相互转换	183
第三节 计数器	186
一、时序逻辑电路的一般分析方法	186
二、计数器	190
第四节 数模和模数转换	198
一、数模(D/A)转换器	199
二、模数(A/D)转换器	201
习题	202
第十章 脉冲发生器	205
第一节 脉冲发生器	205
一、脉冲及脉冲发生器	205
二、RC 脉冲发生器	206
三、限幅电路与钳位电路	208
四、与非门脉冲发生器	211
第二节 脉冲整形电路	214
一、单稳态电路	214
二、施密特触发器	218
第三节 555 定时器	220
一、555 定时器的电路结构和工作原理	220
二、用 555 定时器组成的单稳态触发器	222
三、用 555 定时器组成的多谐振荡器	224
四、用 555 定时器组成的施密特触发器	225
习题	227
第十一章 生物医学传感器	229
第一节 生物医学检测系统与传感器	229
一、生物医学检测系统	229
二、生物医学传感器的作用	229
三、生物医学传感器的主要性能指标	230
第二节 生物医学电极	231
一、电极的各种电位	231
二、电极的阻抗	232

三、各种电极	233
四、微电极	235
第三节 生物医学换能器	236
一、电阻应变式换能器	236
二、电容式换能器	238
三、光纤压力换能器	240
四、热敏式换能器	240
五、光敏式换能器	240
习题	242
第十二章 医学仪器的显示与记录	243
第一节 屏幕式显示器	243
一、示波管	243
二、示波器	244
第二节 直接描笔式装置	245
一、描笔偏转式记录器	245
二、自动平衡式记录器	246
第三节 常见的打印输出装置	248
一、点阵针式打印机	248
二、喷墨打印机	248
三、激光打印机	249
第四节 磁带记录装置	249
一、磁带记录原理	249
二、模拟式磁带记录装置	250
三、数字式磁带记录装置	251
第五节 光盘记录装置	251
一、只读式光盘	252
二、一次性可写入光盘	252
三、可读写式光盘	252
四、可刻录光盘	253
习题	254
第十三章 医用仪器干扰的抑制和安全用电	255
第一节 干扰的种类	255
一、交流电干扰	255
二、磁场干扰	256
三、电场干扰	257
四、电磁场干扰	258
第二节 屏蔽的方法	259
一、电场屏蔽	259
二、磁场屏蔽	260

第三节 安全用电	262
一、人体的导电性能	262
二、电击的分类	263
三、电击的几种因素	264
四、预防电击的措施	265
五、医用电气系统的安全检测	266
习题	268
第十四章 几种常用的医学电子仪器	269
第一节 心电图机	269
一、心电图的导联方法	270
二、心电图机的功能	271
三、心电图机的构成	271
四、心电图机的安全性	273
第二节 B型超声诊断仪	273
一、B型超声诊断仪分类	273
二、电子扫描 B型超声诊断仪的工作原理	274
三、数字扫描变换器(DSC)	275
第三节 X-CT 机	276
一、X射线断层照相术	276
二、电子计算机 X射线断层术	277
三、CT 机的基本原理与构造	277
四、螺旋 CT	279
五、X-CT 技术进展及展望	279
第四节 磁共振成像	280
一、核磁共振成像原理	281
二、磁共振成像装置	282
三、MRI 的应用	284
中英文专业名词对照	285

电路分析基础

随着电子技术的飞速发展,各种医用电子设备不断出现,所有这些医用电子设备均是由一些基本电路组成的。而电路理论是从电磁学发展起来的,电路理论的基本概念和基本定律是电路分析的基础。本章将介绍直流电路、电路的暂态过程、交流电路等,为学习电子线路奠定基础。

第一节 直流电路

一、电路的基本概念

电路是由电路元件组成的整体,它提供了电流流通的路径。电路元件包括线性元件(如电阻、电容、电感)和非线性元件(如二极管、三极管)等。电路中还有另外一种给电路提供能量使电路保持电流流动的元件称为电源。电压源是电源的一种,电压源的符号如图 1-1 所示。图 1-1(a)所示符号常用来表示直流电压源,特别是表示电池的模型, U_s 为电压源的端电压。图 1-1(b)表示电压源的一般符号,也可用来表示直流电压源,此时 $u_s(t) = U_s$ 。正、负号表示参考极性,对已知的直流电压源,常使参考极性与已知极性一致。

图 1-2 是一种简单电路,由电源、负载和中间环节三部分组成。电池 U_s (电源)、电阻 R_L (负载)以及开关 K 和导线(中间环节)构成一闭合回路。其中 I 是开关闭合时的回路电流, U_s 和 R_s 分别表示电源的电动势和内阻。通常将电源内部的电路称为内电路,如图 1-2 中虚线框内部分,开关 K 、负载 R_L 以及连接导线则统称为外电路。

二、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路分析理论中最基本的定律之一,它由基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律两个定律组成,分别描述电路中各电流、电压之间的关系。

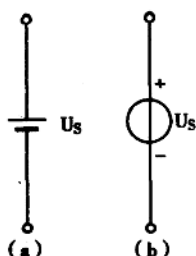


图 1-1 电压源的符号

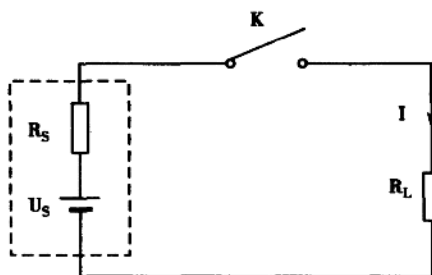


图 1-2 简单电路

(一) 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也称基尔霍夫电流定律,简称 KCL。在电路中,由电源和电阻元件(或独立组成)连成的一段无分支的电路称为支路,如图 1-3 中 $abcd$ 、 ad 、 aed 。三条或三条以上支路的连接点称为节点,如图 1-3 中 a 、 d 都是节点。根据电流连续性原理,在直流电路中,流向节点的所有电流之和应等于从节点流出的所有电流之和,这就是基尔霍夫第一定律。若规定流进节点的电流为正,流出节点的电流为负,则汇合于节点的电流的代数和为零,其数学表达式为:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (1-1)$$

式中 I_i 为流出(或流进)节点的第 i 条支路的电流, n 为节点处的支路数。根据基尔霍夫电流定律,对电路中的每个节点都可列出一个方程,但不是所有的方程都是独立的,如果电路有 n 个节点,则只能列出 $n-1$ 个独立的方程。在应用基尔霍夫第一定律时,如果支路电流方向不能预先确定,可以先任意假定一个方向,最后由计算结果来确定它的实际方向,如果计算结果为正,则实际方向与假设方向相同;如果计算结果为负,则实际方向与假设方向相反。

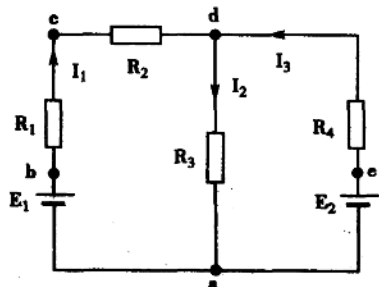


图 1-3 支路和节点

(二) 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律又称为回路电压定律,简称 KVL。几条支路构成的闭合通路称为回路,如图 1-3 中 $abcd$ 、 $adea$ 、 $abcdea$ 。如果所选择的每个回路至少含有一个其他回路没有包含的支路,这样的回路称为独立回路,如图 1-3 中 $abcd$ 、 $adea$ 。基尔霍夫第二定律指出:沿任意闭合回路绕行一周,回路中各部分(或各元件)的电势降落的代数和为零,数学表达式为:

$$\sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=1}^n U_i = 0 \quad (1-2)$$

式中 E_i 、 U_i 为回路中的第 i 条支路电源电压和元件上的电压, n 为回路中的支路数。使用上式时,首先任意选定一个回路的绕行方向(顺时针方向或逆时针方向),然后沿绕行方向逐个确定各项的正负号:若电阻中电流方向与绕行方向相同,电势降落为 $+IR$,相反,电势降落为 $-IR$;若电源电动势的指向(电动势指向是从电源负极经电源内部到电源正极)

与绕行方向相同,电势降落为 $-E$;相反,电势降落为 $+E$ 。

对于一个具有 n 个节点和 m 条支路的电路,总共有 $m-(n-1)$ 个独立回路,可列 $m-(n-1)$ 个独立回路电压方程。如图 1-3 中,有 2 个节点,3 条支路,独立回路有 2 个,即: $abcda$ 、 $adea$ 两个回路,若按顺时针方向绕行,可写出两个回路电压方程。

对于 $abcda$ 回路: $-E_1 + I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_2 R_3 = 0$

对于 $adea$ 回路: $-I_2 R_3 - I_3 R_4 + E_2 = 0$

下面通过举例说明如何利用基尔霍夫定律计算电路的电流和电压。

例 1-1 图 1-4 所示的电路是由两个直流电源并联给一个负载 R_3 供电的情况,设 $E_1 = 4.0\text{V}$, $E_2 = 6.0\text{V}$, $R_1 = 1.0\Omega$, $R_2 = 1.5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$,试计算 I_1, I_2, I_3 值。

解:假设各支路的电流方向如图中的箭头所示。

根据 KCL,可列出电流方程,对于节点 a 有:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

根据 KVL,对于回路 $abcda$ (逆时针方向),有:

$$-E_1 + I_1 R_1 - I_2 R_2 + E_2 = 0$$

对于回路 $abcea$ (顺时针方向),有:

$$-I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 = 0$$

将上述三式联立,通过对方程组求解,并将 E_1, E_2, R_1, R_2, R_3 用已知数值代入,可得各支路电流分别为:

$$I_1 = -\frac{28}{53}\text{A} \quad I_2 = \frac{52}{53}\text{A} \quad I_3 = \frac{24}{53}\text{A}$$

上面的计算结果中, I_1 为负值,说明该电流方向与图 1-4 中假定的方向相反,即实际上 I_1 不是从 E_1 的正极流出,而是从 E_1 的正极流入, E_1 没有向负载供电,而是由 E_2 对它进行充电。

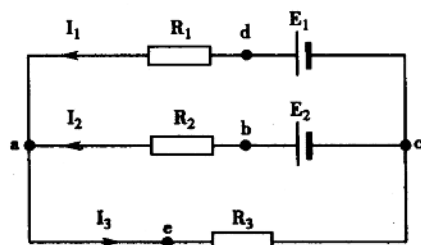


图 1-4 选取闭合回路

三、电压源和电流源

电源是能将其他形式能量转换成电能的装置,如干电池、充电电池等,它们既能向外电路提供电压,又能提供电流。电源可分为电压源和电流源。

(一) 电压源

实际电压源可以用一个电源电动势 U_s 和内阻 R_s 的串联组合来表示,如图 1-5(a) 虚线框内所示。当电压源向负载 R_L 提供电压和电流时,电源两端的电压 U (也称输出电压) 与输出电流 I 之间有如下的关系:

$$U = U_s - IR_s \quad (1-3)$$

上式表明,随着输出电流的增大,电压源的输出电压线性下降,如图 1-5(b) 所示,而且内阻 R_s 越大,下降越多。

当图 1-5(a) 中的电压源内阻 $R_s = 0$ 时,不论电源的输出电流 I 如何变化,其输出电压

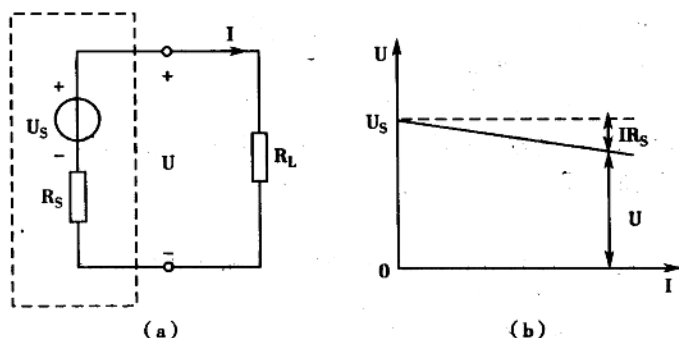


图 1-5 电压源及其伏安特性

U 将等于电源的电动势 U_s , 这样的电压源称为理想电压源或称为恒压源, 图 1-6(a)、(b) 是理想电压源和它的伏安特性。在电子技术中使用的实际电源, 一般要求其有稳定的输出电压, 尽量接近恒压源, 其内阻应越小越好。

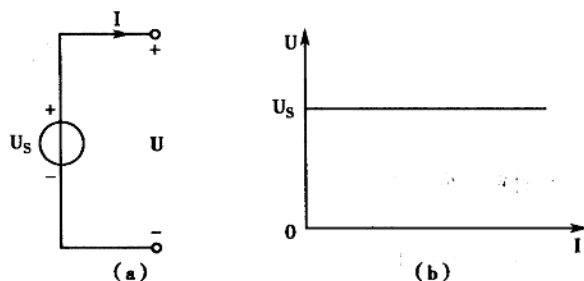


图 1-6 理想电压源及其伏安特性

(二) 电流源

实际的电流源可以看成是恒值电流 I_s 与内阻 R_s 的并联, 如图 1-7(a) 虚线框内所示。假定电流源与负载 R_L 连接时, 电流源向 R_L 提供的电流为 I , 加于 R_L 的电压为 U , 流过内阻的电流为 I_1 , 输出电流 I 与电源两端的电压 U 的关系为:

$$I = I_s - I_1 = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-4)$$

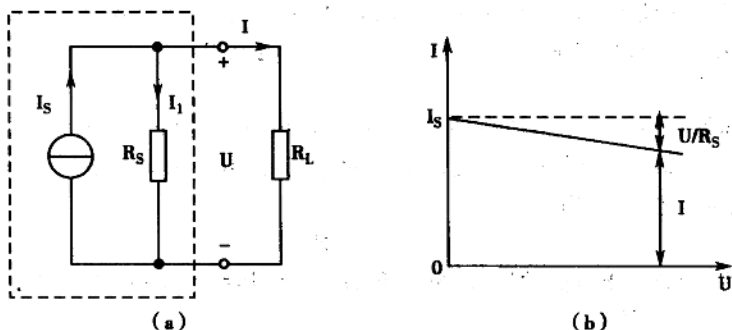


图 1-7 电流源及其伏安特性

上式表明,在输出电压一定的情况下,输出电流随电流源内阻 R_S 的变化而变化。内阻 R_S 越小,其分流作用越大,输出电流越小,电流源的伏安特性越差,如图 1-7(b)所示。

在电流源内阻 $R_S = \infty$ 的情况下,式(1-4)中的输出电流 I 将恒等于 I_S ,而不随负载电阻 R_L 的变化而变化,这种电流源称为理想电流源或恒流源。理想电流源及其伏安特性如图 1-8(a)、(b)所示。在实际中,如果电流源的内阻 R_S 远大于负载电阻 R_L 时,可近似看成是恒流源。

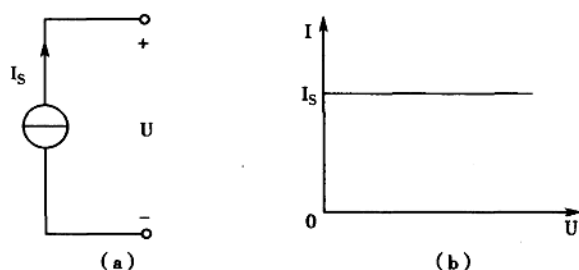


图 1-8 理想电流源及其伏安特性

从上面的讨论可以看出,为了使电压源和电流源更接近理想电压源和电流源,电压源的内阻应越小越好,而电流源的内阻应越大越好。

(三) 两种实际电源模型间的等效变换

在简化电路分析时,有时需要将电压源变换成电流源,或者将电流源变换成电压源。如图 1-9 所示为电压源和电流源的模型,在相互变换过程中,要求变换前后的电源对外部输出性能完全一致,即等效变换。由图 1-9(a)可得:

$$I = \frac{U_S - U}{R_S} = \frac{U_S}{R_S} - \frac{U}{R_S}$$

由图 1-9(b)得:

$$I = I_S - \frac{U}{R'_S}$$

比较上两式可得

$$I_S = U_S / R_S \quad R'_S = R_S \quad (1-5)$$

或

$$U_S = I_S R'_S \quad R_S = R'_S \quad (1-6)$$

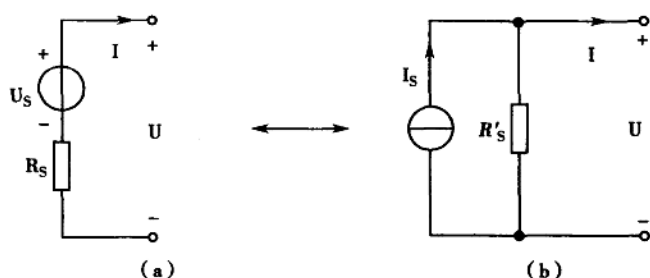


图 1-9 电源模型的等效变换

由上述可知,电压源和电流源相互等效变换时,只要满足式(1-5)、式(1-6)等效变换条件,即只要知道了电源的一种电路模型的参数,就可以根据上述条件将它转换成另一种

电路模型。

例如,已知某电压源的内阻 $R_s = 3\Omega$, 电动势 $U_s = 9V$, 当将它变换成电流源时, 其内阻 $R'_s = R_s = 3\Omega$, 电流 $I_s = U_s/R_s = 9/3 = 3A$ 。

在对两种电源模型进行等效变换时, 应注意以下两点:

(1) 图 1-9(b) 所示的电流源 I_s 的方向应是图 1-9(a) 所示电压源 U_s 的负极指向正极的方向。

(2) 两种电源模型的相互变换, 可进一步理解为一个电压源与电阻的串联组合和一个电流源与电阻并联组合之间可以进行等效变换, 即这些电阻不一定要是电源的内阻。

四、戴维南定理

在一个电路中, 往往只需要计算其中某一支路的电流或电压, 这样相对于该支路来说, 电路的其余部分只有两个端点与它连接。不管其余部分电路的内部结构如何复杂, 实际上都可以将它用一个等效电源来替代, 这样就将复杂电路化为简单电路, 求解起来非常方便。如果用等效电源替代的那部分电路中含有电源, 且有两个出线端, 则称它为有源二端网络, 如图 1-10(a) 中虚线框内所示。用一个带有字母 A 的方框表示二端网络, 图 1-10(b) 为图 1-10(a) 有源二端网络等效电路。如果二端网络中不含有电源, 则称为无源二端网络。譬如把图 1-10(a) 中电压源用短路线替代, 就变成一个无源二端网络。

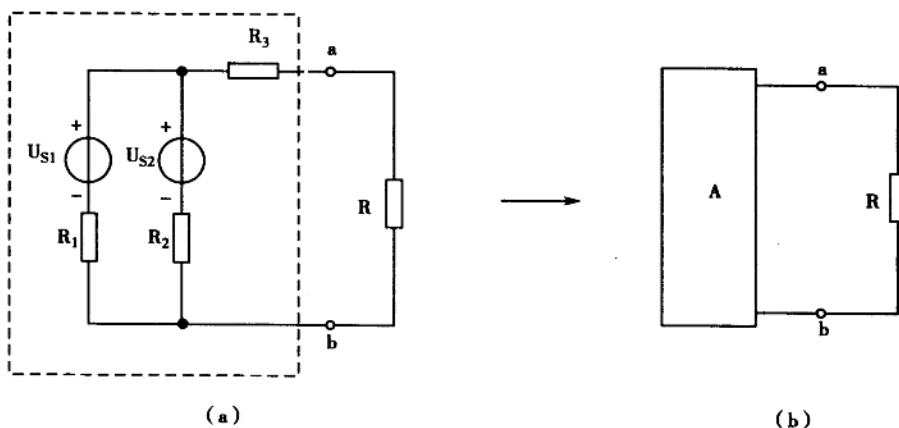


图 1-10 有源二端网络及其等效电路

戴维南定理指出: 任何一个含源线性二端网络, 对外电路来说, 可以用一个电压源和电阻串联组合的电路模型来等效。该电压源的电压等于含源二端网络的开路电压 U_{OC} (即该二端网络与外电路断开时其两端点之间的电压), 而电阻等于有源二端网络内部所有电源都为零时 (即全部电压源短路, 电流源开路) 的两个输出端之间的等效电阻 R_{EQ} 。

下面通过一个例子说明该定理的应用。

例 1-2 用戴维南定理求解图 1-11(a) 中流过 R_3 的电流。

解: 电路如图 1-11(a) 所示。

(1) 将待求含 R_3 支路断开如图 1-11(b) 所示, 求开路电压 U_{OC} 。设电路中的电流为 I' , 则: