



面向**21**世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

全国高等学校教材 | 供医学影像学专业用

医学电子学基础

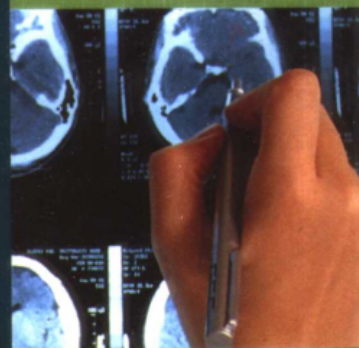
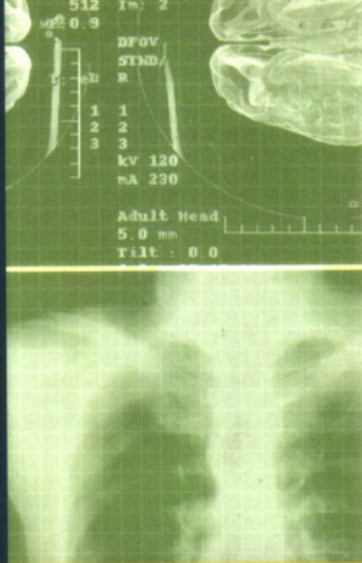
[第2版]

主 编 陈仲本

副主编 况明星

人民卫生出版社

People's Medical Publishing House



R312
86-2

1. 人体断面解剖学 (第2版)
2. 医学影像物理学 (第2版)
- ▶ 3. 医学电子学基础 (第2版)
4. 医学影像设备学 (第2版)
5. 医学影像检查技术学 (第2版)
6. 医学影像诊断学 (第2版)
7. 介入放射学 (第2版)
8. 影像核医学
9. 肿瘤放射治疗学

责任编辑 刘艳梅
 郭向晖
封面设计 李 蹊
版式设计 何美玲
责任校对 杨丽琴

ISBN 7-117-06876-0



9 787117 068765 >

定 价：24.00 元

面向 21 世纪课程教材

全国高等学校教材
供医学影像学专业用

医学电子学基础

第 2 版

主 编 陈仲本

副主编 况明星

编 者(以姓氏笔画为序)

王晨光 (哈尔滨医科大学)

况明星 (南昌大学医学院)

冷 冰 (南京医科大学)

李伟鹏 (南方医科大学)

陈仲本 (中山大学中山医学院)

周英君 (牡丹江医学院)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医学电子学基础/陈仲本主编. —2 版. —北京:
人民卫生出版社, 2005. 7

ISBN 7-117-06876-0

I. 医… II. 陈… 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 (2005) 第 050695 号

医学电子学基础

第 2 版

主 编: 陈 仲 本

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: pmph@pmph.com

邮购电话: 010-67605754

印 刷: 三河市富华印刷包装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 16.5

字 数: 398 千字

版 次: 2000 年 10 月第 1 版 2005 年 8 月第 2 版第 9 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-06876-0/R·6877

定 价: 24.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前言

本教材是根据全国高等学校医学影像学专业规划教材（第二轮）会议的精神修订的医学影像学专业系列规划教材之一。在教材修订过程中，编者贯彻了坚持三基（基础理论、基本知识、基本技能）、五性（思想性、科学性、先进性、启发性、适用性）、三特定（特定的对象、特定的要求、特定的限制）的原则。

本轮教材编写时注意继承了第1版中优秀和成熟的部分，结合医学影像专业的培养目标，照顾到与系列教材中其他教材的协调，在结构编排和内容取舍方面作了相应的调整。删去了第1版教材中的第九章-生物医学传感器和第十章-医用仪器显示和记录装置的内容；由于数字电子技术的迅速发展，因此加强和扩充了数字电路的内容和篇幅；目前在模拟电路和数字电路中都大量使用集成电路器件，教材修订中也加强了集成电路的内容，特别在模拟电路部分，把一些比较陈旧的分立元件电路用集成电路取代；根据第一轮教材在使用中反馈的信息，本教材增加了医学影像学专业学生所需的知识点，部分内容的定量分析和计算作了适当的补充。

本教材以加强影像学专业学生基本理论、基本知识和基本技能为目的，为学生学习与本专业相关的后续课程奠定必要的基础。本书可作为医科院校医学影像学专业五年制、七年制学生的教材，也可作为医学影像学专业专科和其他医学专业学生的选用教材，同时还可作为医务工作者的参考书。

全书分十一章。第一章、第十一章由中山大学中山医学院陈仲本编写；第二章由南京医科大学冷冰编写；第三章由泰山医学院鲁雯编写；第四章、第十章由天津医科大学郭明霞编写；第五章、第六章、附录由南昌大学医学院况明星编写；第七章由牡丹江医学院周英君编写；第八章由南方医科大学李伟鹏编写；第九章由哈尔滨医科大学王晨光编写；最后由陈仲本和况明星统一修改和定稿。全书插图由王晨光绘制。

本书的修订工作能够顺利进行，得益于哈尔滨医科大学高翠霞教授在主编第1版教材时打下了很好的基础，还有各位编者的认真、负责态度和编者所在学校的支持，卫生部教材办公室的指导，编写会议和定稿会议得到中山大学和牡丹江医学院的大力支持，全书绘图王晨光做了大量的工作，在此一并鸣谢。

由于我们水平有限，在编写过程中难免有不足和错误之处，恳请读者指正。

编者

2005年2月

目 录

第一章 电路基础	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	2
三、电压源和电流源	3
四、叠加定理	5
五、戴维南定理和诺顿定理	6
第二节 电路的暂态过程	8
一、RC 电路的暂态过程	8
二、RL 电路的暂态过程	10
第三节 交流电路	12
一、正弦交流电	12
二、正弦交流电的相量表示法	12
三、电阻、电感与电容元件在交流电路中的特性	13
四、RLC 串联电路及其谐振	15
五、LC 并联谐振回路	17
六、RC 串联电路	18
第四节 常用滤波电路	19
一、低通滤波电路	20
二、高通滤波电路	21
三、带通滤波电路	22
四、带阻滤波电路	22
习题一	23
第二章 放大器的基本原理	25
第一节 晶体二极管	25
一、半导体的导电性	25
二、PN 结及其单向导电性	26
三、晶体二极管及其特性	27
四、特殊二极管	29
第二节 晶体三极管	31

2 医学电子学基础 《《《《

一、晶体三极管的结构	31
二、晶体三极管的放大作用	32
三、晶体三极管的特性曲线	33
四、晶体三极管的主要参数	34
第三节 基本放大电路	36
一、放大电路的基本概念	36
二、基本放大电路及其工作状态分析	38
三、放大电路性能指标的计算	44
四、静态工作点稳定电路	45
五、多级放大电路	47
第四节 场效应管及其放大电路	49
一、绝缘栅场效应管	49
二、绝缘栅场效应管的主要参数	52
三、场效应管基本放大电路	53
习题二	55
第三章 生物医学常用放大器	58
第一节 生物电信号的特点	58
一、生物电信号的基本特性	58
二、生物医学放大器的基本要求	60
第二节 负反馈放大器	60
一、反馈的基本概念	61
二、负反馈的基本类型	61
三、负反馈对放大器性能的影响	64
第三节 直流放大器	67
一、直流放大器的零点漂移	68
二、差分放大器	68
第四节 功率放大器	74
一、功率放大器的特点和分类	74
二、互补对称功率放大器	75
三、集成功率放大器	78
习题三	79
第四章 集成运算放大器	81
第一节 集成运放的组成与性能	81
一、集成运放的电路组成	81
二、集成运放的主要性能指标	82
三、集成运放的理想模型	83
第二节 基本运算放大器	84

一、反相比例运算放大器	84
二、同相比例运算放大器	85
三、加减运算放大器	86
四、积分运算放大器	87
五、微分运算放大器	88
第三节 集成运放在信号测量及处理方面的应用	88
一、测量放大器	89
二、电压比较器	92
三、采样保持电路	93
四、有源滤波器	93
习题四	97
第五章 振荡电路	99
第一节 RC 正弦波振荡器	99
一、自激振荡的基本原理	99
二、RC 串并联选频电路	100
三、文氏桥式 RC 振荡器	102
第二节 LC 正弦波振荡器	102
一、变压器反馈式振荡器	103
二、电感三点式振荡器	103
三、电容三点式振荡器	104
第三节 晶体正弦波振荡器	105
一、石英晶体的结构和电特性	105
二、并联型晶体振荡器	106
三、串联型晶体振荡器	107
第四节 非正弦波发生器	108
一、矩形波发生器	108
二、三角波发生器	108
三、锯齿波发生器	110
四、集成函数发生器	110
习题五	111
第六章 高频电路	113
第一节 小信号调谐放大器	113
一、单调谐放大器	113
二、双调谐放大器	115
三、集成高频放大器	117
第二节 高频功率放大器	118
一、高频功率放大器的特点	118

4 医学电子学基础 《《《《

二、丙类谐振功率放大器的工作原理	118
第三节 调幅与检波	120
一、调幅的基本概念	120
二、晶体三极管调幅电路	122
三、二极管幅度检波器	123
第四节 调频与鉴频	124
一、调频的基本概念	124
二、调频电路	125
三、鉴频电路	125
习题六	127
第七章 直流电源	128
第一节 整流电路	128
一、单相半波整流电路	129
二、整流电路的主要参数	129
三、单相桥式整流电路	130
四、倍压整流电路	132
第二节 滤波电路	133
一、电容滤波电路	133
二、电感滤波电路	134
三、 π 型滤波电路	135
第三节 稳压电路	136
一、稳压管稳压电路	136
二、串联型稳压电路	137
三、集成稳压器	138
四、稳压电源的主要性能指标	140
第四节 开关型稳压电路	140
一、开关型稳压电路的特点	140
二、串联开关型稳压电路组成及工作原理	141
第五节 可控硅整流电路	142
一、可控硅的结构与导通条件	143
二、单结晶体管及触发电路	144
三、单相桥式可控整流电路	146
习题七	148
第八章 数字电路基础	151
第一节 数字逻辑基础	151
一、计数制	151
二、逻辑代数基础	153

第二节 基本逻辑电路	156
一、基本逻辑门电路	157
二、集成门电路	158
三、门电路的主要性能指标	160
四、集成门电路系列	160
第三节 双稳态触发器	161
一、RS 触发器	161
二、JK 触发器	162
三、D 触发器	163
四、T 触发器	164
第四节 脉冲的波形变换	165
一、脉冲的主要参数	165
二、脉冲的微分和积分电路	165
三、削波、限幅和钳位电路	167
第五节 脉冲的产生和整形	169
一、555 定时器	169
二、施密特触发器	170
三、多谐振荡器	174
四、单稳态触发器	177
习题八	180
第九章 组合和时序逻辑电路	183
第一节 组合逻辑电路	183
一、加法器	183
二、编码器	185
三、译码器和数码显示	188
四、数据选择器和数据分配器	191
第二节 时序逻辑电路	192
一、二进制计数器	193
二、十进制计数器	197
三、数码寄存器	199
四、移位寄存器	199
第三节 可编程逻辑器件	201
一、PLD 简介	201
二、可编程型只读存储器	203
三、可编程逻辑阵列 PLA	205
四、可编程阵列逻辑 PAL	206
五、通用阵列逻辑 GAL	207
六、FPGA/CPLD 概述	207

习题九	208
第十章 A/D 与 D/A 转换器	210
第一节 D/A 转换器	210
一、D/A 转换器的工作原理	211
二、D/A 转换器的主要技术指标	213
三、集成 D/A 转换器	213
四、D/A 转换器的输出方式	214
第二节 A/D 转换器	216
一、A/D 转换器的工作原理	216
二、A/D 转换器的主要技术指标	218
三、集成 A/D 转换器	218
第三节 A/D 与 D/A 转换器的应用举例	219
习题十	221
第十一章 医用仪器干扰的抑制和安全用电	222
第一节 干扰与抑制	222
一、磁场干扰	222
二、电场干扰	222
三、高频电磁场干扰	224
四、仪器接地点不正确而引起的干扰	225
五、仪器之间连接不正确而引起的干扰	226
第二节 屏蔽	227
一、电场屏蔽	228
二、磁场屏蔽	228
三、高频电磁场的屏蔽	230
四、医用屏蔽室	230
五、放射线的屏蔽	231
第三节 安全用电	232
一、人体的导电	232
二、电击的类型	233
三、电击的因素	233
四、防止电击的主要措施	235
习题十一	236
附录一 检波二极管和整流器件	237
附录二 稳压二极管和集成稳压器	240

附录三 晶体三极管	242
附录四 集成运算放大器	244
附录五 CMOS4000 系列数字电路的名称与型号对照	247

第一章

电路基础

电路理论是从物理学中的电磁学发展起来的,它的基本概念和基本定律是电子技术的基础,其分析和综合方法已在各种仪器的设计中得到了广泛的应用。本章将主要介绍直流电路、电路的暂态过程、交流电路、常用滤波电路,为后面学习电子线路打下基础。

第一节 直流电路

一、电路的基本概念

在物理学中已学过,电荷在电场作用下的定向移动叫电流(current),习惯上将正电荷运动的方向规定为电流的方向,而电路(circuit)则是电流所流过的路径。要在电路中形成电流必须具备两个条件,一是电路中有自由移动的电荷(即载流子),二是电路两端必须加有电压。根据欧姆定律,导体两端的电压与通过它的电流强度有以下关系

$$I = \frac{U}{R} = GU \quad (1-1)$$

式中的 I 表示电流强度(current intensity),简称为电流,常用的单位有安培(A)、毫安(mA)和微安(μA),它们之间的换算关系为, $1\text{A} = 1000\text{mA}$, $1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$ 。式中的 U 是电压,它的单位为千伏(kV)、伏(V)、毫伏(mV)和微伏(μV),它们之间的换算关系为, $1\text{kV} = 1000\text{V}$, $1\text{V} = 1000\text{mV}$, $1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$ 。 R 是电路的电阻,它反映了电路对电流阻碍作用的大小,在电子学中常用的单位有兆欧($\text{M}\Omega$)、千欧($\text{k}\Omega$)和欧(Ω),它们的关系为, $1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega$, $1\text{k}\Omega = 1000\Omega$ 。

式(1-1)还表明, G 是电阻 R 的倒数,叫电导(conductance),它是反映物体导电能力强弱的物理量, G 值越大,物体导电能力越强,反之则导电能力弱。在国际单位制 SI 中,电导的单位是西门子,简称为西,用符号 S 表示, $1\text{S} = 1\Omega^{-1}$ 。

电路是由电源、负载和中间环节三部分组成的。图 1-1 是一种简单电路,它由电池(电源)、电阻 R_L (负载)以及开关 K 和导线(中间环节)构成,是一种单回路电路, E 和 R_0 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 1-1 虚线框内所示的电路,开关、负载电阻以及连接导线则统称为外电路。

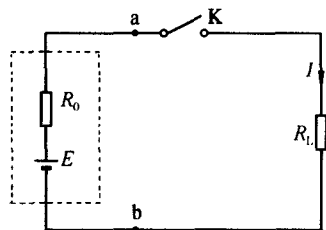


图 1-1 简单电路

二、基尔霍夫定律

在实际应用中,有些电路比较复杂,如图 1-2 所示的桥式电路就是其中的一个例子,它们不能用电阻的串并联规律简单分析和计算出电路的电流和电压,这时可用基尔霍夫定律(Kirchhoff's law)进行求解。

1. 基尔霍夫第一定律 在电路中,通过同一电流的每个分支电路叫支路(branch),三条或三条以上支路的汇合点称为节点(nodal point),例如图 1-2 中的 a、b、c、d 各点都是节点。由电流连续性可知,流入节点的电流之和应等于流出节点电流之和,这就是基尔霍夫第一定律。例如,对于图 1-2 中的节点 a,有

$$I = I_1 + I_2 \quad \text{或} \quad I - I_1 - I_2 = 0$$

对于各节点应用基尔霍夫第一定律可以写出一组电流方程,称为基尔霍夫第一方程组,通常记为

$$\sum I = 0 \quad (1-2)$$

其中规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负。在应用第一定律时,如果支路电流的方向不能预先确定,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,如果计算值为正,则实际方向与假设方向相同;如果计算值为负,则实际方向与假设方向相反。

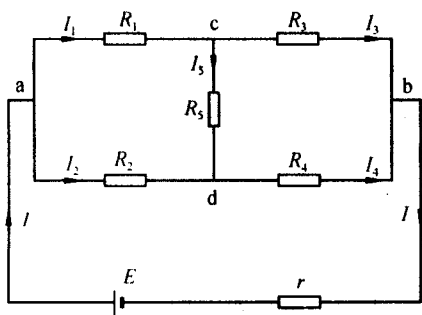


图 1-2 支路和节点

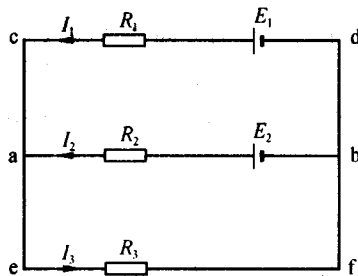


图 1-3 选取闭合回路

2. 基尔霍夫第二定律 在分支电路中,任一闭合路径称为回路(loop),如图 1-3 所示,abcda 和 abfea 都是闭合回路。基尔霍夫第二定律指出:沿任一闭合回路的电势增量的代数和等于零。即

$$\sum E + \sum IR = 0 \quad (1-3)$$

对于各闭合回路,应用基尔霍夫第二定律可以列出一组电压方程,称为基尔霍夫第二方程组。

在使用基尔霍夫定律求解时,电流的方向和回路绕行方向是任意选定的,并规定,电势升高者为“+”,电势降低者为“-”,具体按以下规则确定电势增量的正、负号:①当电阻 R 中的电流方向与选定的回路绕行方向相反时,电势增量为 $+IR$,相同时,电势增量为 $-IR$;②如果电动势 E 从负极到正极的方向与选定的绕行方向相同,则电势增量为 $+E$,相反时,电势增量为 $-E$ 。下面通过举例来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 1-3 所示的电路是由两个直流电源并联给一个负载电阻 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, 根据基尔霍夫第一定律, 可列出电流方程, 对于节点 a, 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (\text{a})$$

由于本题中有三个未知电流, 所以还需要两个方程才能求解。根据基尔霍夫第二定律, 对于回路 dcabd(逆时针方向), 有

$$E_1 - I_1 R_1 + I_2 R_2 - E_2 = 0 \quad (\text{b})$$

对于回路 abfea(顺时针方向), 有

$$I_2 R_2 - E_2 + I_3 R_3 = 0 \quad (\text{c})$$

将(a)、(b)、(c)三式联立成以电流 I_1, I_2, I_3 为变量的方程组, 并将 E_1, E_2, R_1, R_2, R_3 各已知值代入, 通过对方程组求解, 可得各支路的电流分别为

$$I_1 = -0.53\text{A}, \quad I_2 = 0.98\text{A}, \quad I_3 = 0.45\text{A}$$

上面的计算结果中, 流过 E_1 的电流 I_1 为负值, 说明该电流与图 1-3 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 非但没有向负载供电, 相反由 E_2 对它进行充电。

从例 1-1 可以看出, 利用基尔霍夫定律求解电路时, 如果有 m 个未知数, 则需要列出 m 个独立方程, 若电路有 n 个节点, 则只能列出 $(n-1)$ 个节点电流方程, 其余 $m-(n-1)$ 个方程应为独立的回路方程(电压方程), 即所选择的每一个回路至少含有一个其他回路没有包含的未知数。

三、电压源和电流源

电源是维持电路中电流的能源, 如发电机、电池等, 它既能向外电路提供电压, 又能提供电流。实际使用的电源, 可分为电压源和电流源。

1. 电压源 实际的电压源可以看成是电动势 E 和内阻 R_0 的串联组合, 如图 1-4(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 (也叫输出电压) 与输出电流 I 之间有如下关系

$$U = E - IR_0 \quad (1-4)$$

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 1-4(b)所示, 且内阻 R_0 愈大, 下降愈多。

当图 1-4(a)中的电压源内阻 $R_0=0$ 时, 不论电源的输出电流 I 如何变化, 其输出电压 U 将等于电动势 E , 即 $U=E$, 这样的电压源称为理想电压源或称为恒压源, 图 1-4(c)是它的伏安特性。在电子技术中使用的电源, 一般要求电源有稳定的输出电压, 其内阻应愈小愈好。

2. 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 1-5(a)虚线框内所示。假定电流源与负载电阻 R_L 相连时, 电流源向 R_L 提供的电流为 I , 加于 R_L 的电压为 U , 则流过内阻 R_s 的电流为 $\frac{U}{R_s}$, 电源两端的电压 U 与输出电流 I 的关系为

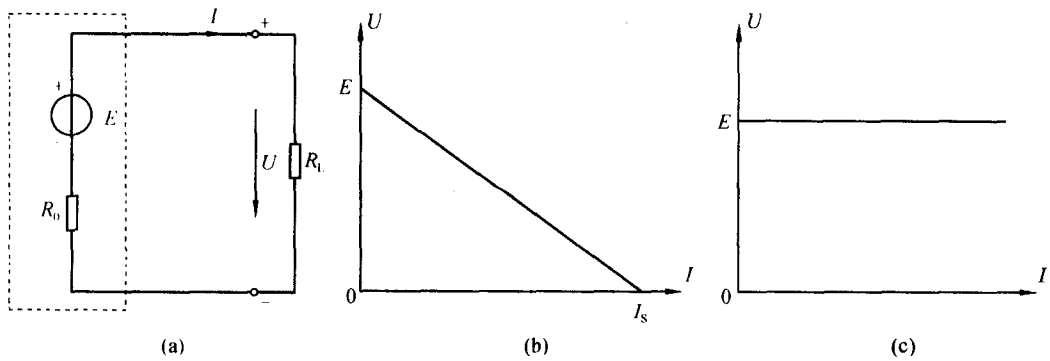


图 1-4 电压源及其伏安特性
(a)电压源模型;(b)电压源的外特性曲线;(c)理想电压源的外特性曲线

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-5)$$

上式表明,在输出电压 U 一定的情况下,输出电流随电流源内阻 R_s 的减小而减小,内阻愈小,其分流作用愈大,致使输出电流愈小,电流源的伏安特性就愈差,如图 1-5(b)所示。

在电流源内阻 $R_s = \infty$ 的情况下,式(1-5)中的输出电流 I 将恒等于 I_s ,而不随负载电阻 R_L 的变动而变化,这种电流源称为理想电流源或恒流源,其伏安特性如图 1-5(c)所示。在实际中,如果电流源内阻 R_s 远大于负载电阻 R_L 时,可近似地看成是恒流源。

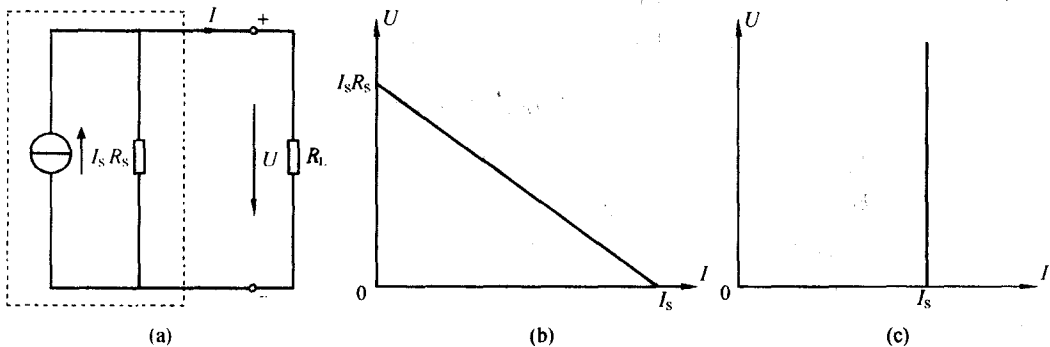


图 1-5 电流源及其伏安特性
(a)电流源模型;(b)电流源的外特性曲线;(c)理想电流源的外特性曲线

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的电压源和电流源,电压源的内阻 R_0 应越小越好,而电流源的内阻 R_s 应越大越好。

3. 电压源与电流源的等效变换 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。但不管怎样变换,对负载 R_L 来说,应当都有相同的输出电流 I 和输出电压 U ,即进行等效变换。由图 1-4(a)可得

$$U = E - IR_0 \quad \text{或} \quad I = \frac{E}{R_0} - \frac{U}{R_0} \quad (1-6)$$

再由图 1-5(a)得:

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \quad (1-7)$$

比较式(1-6)和式(1-7)右边对应项可看出,当

$$I_s = \frac{E}{R_0}, \quad R_s = R_0 \quad (1-8)$$

时,电压源和电流源都能在负载电阻 R_L 上产生相同的电压和电流,也就是说,对负载而言,电源的这两种电路模型是等效的。因此,式(1-8)就是它们的等效转换条件,只要给出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 $R_0 = 2\Omega$, 电动势为 $E = 10V$, 当将它变换成电流源时,其内阻 $R_s = 2\Omega$, 电流 $I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{10V}{2\Omega} = 5A$ 。又如,已知某电流源的电流 $I_s = 3A$, 内阻 $R_s = R_0 = 5\Omega$, 将它转换成电压源时,电动势 $E = I_s R_s = I_s R_0 = 3A \times 5\Omega = 15V$ 。

四、叠加定理

如果电路中有多个电源,各支路中的电流由这多个电源共同作用而产生。对线性电路而言,任何一条支路中的电流,都可以看成是由电路中各个电源(电压源或电流源)分别作用时,在此支路中所产生的电流的代数和,这一规律称之为叠加定理。

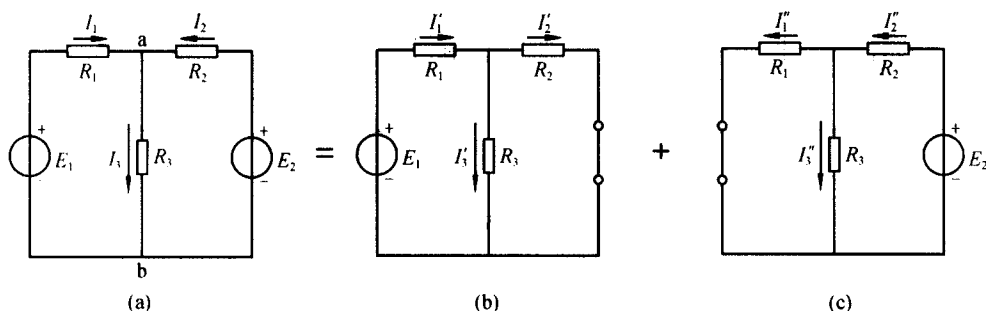


图 1-6 叠加定理

图 1-6(a)所示的电路中有两个电源,用叠加定理可求出各支路的电流。由图 1-6(b)和图 1-6(c)可知, I'_1 是当电路中只有 E_1 单独作用时,在第一之路中所产生的电流。 I''_1 是当电路中只有 E_2 单独作用时,在第一支路中所产生的电流。

因为

$$I'_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} E_1 \quad (1-9)$$

$$I''_1 = \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} E_2 \quad (1-10)$$

所以

$$I_1 = I'_1 - I''_1 \quad (1-11)$$

由于 I''_1 的方向与 I_1 的参考方向相反,所以取负号。