



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



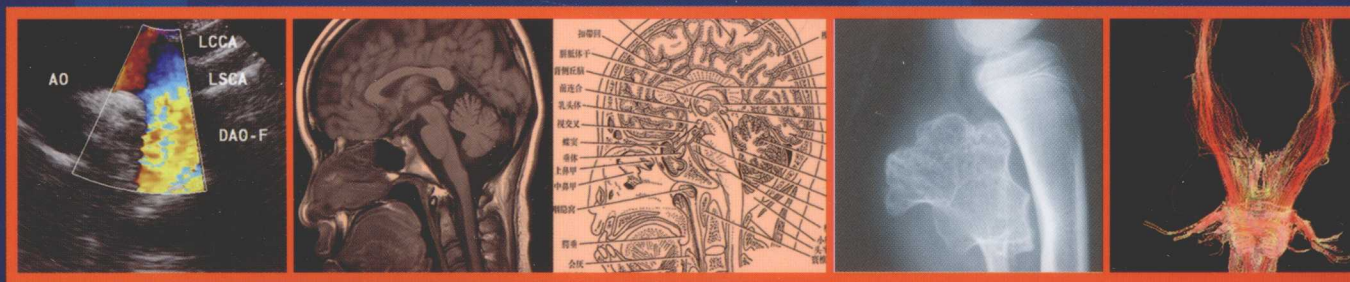
卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

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3版



主 编 陈仲本
副主编 鲁 雯 柴 英



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 ● 卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

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 3 版

主 编 陈仲本

副主编 鲁 雯 柴 英

编 者 (按姓氏笔画排序)

丁晓东 (大连医科大学)

王晨光 (哈尔滨医科大学)

田晓明 (广东医学院)

宁 旭 (第三军医大学)

陈仲本 (中山大学)

周英君 (牡丹江医学院)

周国庆 (河北工程大学)

莫 华 (广西医科大学)

柴 英 (大连医科大学)

郭明霞 (天津医科大学)

鲁 雯 (泰山医学院)

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. —3 版. —北京:
人民卫生出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 117 - 13076 - 9

I. ①医… II. ①陈… III. ①医用电子学 - 医学
院校 - 教材 IV. ①R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 099329 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中 医 师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

医学电子学基础 第 3 版

主 编: 陈仲本

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010 - 59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010 - 67605754 010 - 65264830

010 - 59787586 010 - 59787592

印 刷: 尚艺印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16 印张: 15

字 数: 467 千字

版 次: 2000 年 10 月第 1 版 2010 年 7 月第 3 版第 16 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 117 - 13076 - 9/R · 13077

定价(含光盘): 35.00 元

· 打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

全国高等学校医学影像学专业规划教材

第三轮修订说明

随着医学影像学的飞速发展,对医学影像学高等教育教学内容和体系的改革提出了更高的要求,为了满足学科发展和教学需要,我们在进行多次调查研究、分析论证的基础上,并经全国高等医药教材建设研究会和卫生部教材办公室审议同意,决定从2009年开始启动医学影像学专业规划教材第三轮的修订工作。此次修订仍以《中国医学教育改革和发展纲要》为指导思想,强调三基(基础理论、基本知识和基本技能)、五性(思想性、科学性、先进性、启发性和适用性)原则,紧扣医学影像学专业培养目标,密切结合专业发展特点,按照医学影像学教学改革的要求,重新修订了原有的9种教材,同时新增《医学超声影像学》教材。本套教材共10种,各自成册又互成系统。修订后的教材将满足培养医学影像学专业高级人才的要求。

第三轮教材目录

- | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|
| 1. 人体断面与影像解剖学(第3版) | 主 编 | 王振宇 | 徐文坚 |
| | 副主编 | 段菊如 | 付升旗 |
| 2. 医学影像物理学(第3版) | 主 编 | 吉 强 | 洪 洋 |
| | 副主编 | 周志尊 | 甘 平 |
| 3. 医学电子学基础(第3版) | 主 编 | 陈仲本 | |
| | 副主编 | 鲁 雯 | 柴 英 |
| 4. 医学影像设备学(第3版) | 主 编 | 徐 跃 | 梁碧玲 |
| | 副主编 | 赵 强 | 李 彪 |
| 5. 医学影像检查技术学(第3版) | 主 编 | 张云亭 | 于兹喜 |
| | 副主编 | 郑可国 | 余建明 |
| 6. 医学影像诊断学(第3版) | 主 编 | 白人驹 | 张雪林 |
| | 副主编 | 孟俊非 | 李健丁 |
| | | 徐 克 | 龚洪翰 |
| 7. 介入放射学(第3版) | 主 编 | 郭启勇 | |
| | 副主编 | 申宝忠 | 滕皋军 |
| 8. 影像核医学(第2版) | 主 编 | 黄 钢 | |
| | 副主编 | 左书耀 | 陈 跃 |
| 9. 肿瘤放射治疗学(第2版) | 主 编 | 徐向英 | 曲雅勤 |
| | 副主编 | 李国文 | 伍 钢 |
| 10. 医学超声影像学 | 主 编 | 姜玉新 | 王志刚 |
| | 副主编 | 胡 兵 | 周晓东 |

前 言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材、卫生部“十一五”规划教材、全国高等医药教材建设研究会规划教材《医学电子学基础》是根据全国高等学校医学影像学专业规划教材(第三轮)会议精神修订的医学影像学专业系列教材之一。本轮教材的修订仍然贯彻了三基(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。

本教材的主体结构与前两版大致相同。根据第2版教材各使用单位反馈的意见,对反映较好的章节作了进一步的优化和完善,并注重了全书内容的整体性和各章节衔接的流畅。针对第2版数字电路部分的结构安排较为特殊,该部分重新作了调整。全书多处作了增、删、合并,使教材的结构体系更趋合理。原教材第一章的常用滤波电路合并到第四章的有源滤波器部分;第二章增加了射极输出器;第七章增加了三相桥式整流电路;第十一章扩充了影像设备使用中高频电磁场和放射线屏蔽的内容;附录增加了常用逻辑符号对照表;重新编写了第二、第八、第九章;删去了可编程逻辑器件。

本教材特色鲜明,主要以医学影像专业的学生为对象,既照顾学生的专业基础,又注意加强学生的基本理论、基本知识和基本技能,为本专业后续课程的学习作一些铺垫。教材以电路基础引入,重点介绍模拟电路和数字电路,为了结合影像设备的技术发展和实际应用中的问题,还介绍了高频电路和医用仪器干扰的抑制和安全用电基本知识,各章还尽可能增加结合医学影像学中实际应用的内容和例子。

本书还配套出版学习指导书和光盘,包括各章的内容提要、重点与难点、习题解答、扩展知识、典型例题、课外习题以及电子课件等,可供影像学专业五年制师生参考。同时,也可作为医学影像学专业专科和其他医学专业学生的选学教材,还可作为临床医务工作者参考。

全书共分十一章:第一章由第三军医大学宁旭编写;第二章由哈尔滨医科大学王晨光编写;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;第五章由广西医科大学莫华编写;第六章由中山大学陈仲本编写;第七章由牡丹江医学院周英君编写;第八章由广东医学院田晓明编写;第九章由大连医科大学柴英编写;第十一章由河北工程大学周国庆编写;附录由大连医科大学丁晓东编写;全部插图由王晨光绘制;全书由陈仲本、鲁雯、柴英审定和统稿。

本书全体编者在修订过程中认真负责、反复斟酌、反复修改,使编写任务能够顺利完成;再版工作中还得到广西医科大学和第三军医大学的鼎力协助;王晨光为全书插图的绘制和整理做了大量工作,在此一并鸣谢。

由于编者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,恳请读者赐正。

编 者

2010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、电流和电压的参考方向	1
三、基尔霍夫定律	2
四、电压源和电流源	3
五、叠加定理	5
六、戴维南定理和诺顿定理	5
第二节 电路的暂态过程	7
一、 RC 电路的暂态过程	7
二、 RL 电路的暂态过程	9
第三节 正弦交流电路	10
一、正弦交流电的三要素	11
二、正弦交流电的相量表示法	11
三、电阻、电感与电容元件在交流电路中的特性	12
四、 RLC 串联电路及其谐振	14
五、 LC 并联谐振回路	15
六、 RC 串联电路	17
习题一	18
第二章 放大器的基本原理	20
第一节 晶体二极管	20
一、半导体的导电性	20
二、PN 结及其单向导电性	21
三、晶体二极管及其特性	22
四、特殊二极管	24
第二节 晶体三极管	25
一、晶体三极管的结构	26
二、晶体三极管的放大作用	26
三、晶体三极管的特性曲线	27
四、晶体三极管的主要参数	28
第三节 基本放大电路	29

一、放大电路的基本概念	30
二、基本放大电路及其工作状态分析	32
三、放大电路性能指标的计算	36
四、静态工作点稳定电路	38
五、多级放大电路	39
第四节 射极输出器	41
一、射极输出器的工作状态	41
二、射极输出器的应用	43
第五节 场效应管及其放大电路	43
一、绝缘栅场效应管	43
二、绝缘栅场效应管的主要参数	46
三、场效应管基本放大电路	46
习题二	48
第三章 生物医学常用放大器	51
第一节 生物电信号的特点	51
一、生物电信号的基本特性	51
二、生物医学放大器的基本要求	52
第二节 负反馈放大器	53
一、反馈的基本概念	53
二、负反馈的基本类型	54
三、负反馈对放大器性能的影响	56
第三节 直流放大器	59
一、直流放大器的零点漂移	59
二、差分放大器	60
第四节 功率放大器	65
一、功率放大器的特点和分类	65
二、互补对称功率放大器	66
三、集成功率放大器	68
习题三	69
第四章 集成运算放大器	71
第一节 集成运放的组成与性能	71
一、集成运放的电路组成	71
二、集成运放的主要性能指标	72
三、集成运放的理想模型	72
第二节 基本运算放大器	73
一、反相比例运算放大器	73
二、同相比例运算放大器	75
三、加减运算放大器	75
四、积分运算放大器	77

五、微分运算放大器	77
第三节 集成运放在信号测量及处理方面的应用	78
一、测量放大器	78
二、电压比较器	81
三、采样保持电路	82
四、有源滤波器	82
习题四	86
第五章 振荡电路	89
第一节 RC 正弦波振荡器	89
一、自激振荡的基本原理	89
二、RC 串并联选频电路	90
三、文氏桥式 RC 振荡器	91
第二节 LC 正弦波振荡器	92
一、变压器反馈式振荡器	92
二、电感三点式振荡器	93
三、电容三点式振荡器	93
第三节 石英晶体正弦波振荡器	94
一、石英晶体的结构和电特性	94
二、并联型晶体振荡器	95
三、串联型晶体振荡器	96
第四节 非正弦波发生器	96
一、矩形波发生器	96
二、三角波发生器	97
三、锯齿波发生器	98
四、集成函数发生器	99
习题五	100
第六章 高频电路	102
第一节 小信号调谐放大器	102
一、单调谐放大器	102
二、双调谐放大器	104
三、集成高频放大器	105
第二节 高频功率放大器	106
一、高频功率放大器的特点	106
二、丙类谐振功率放大器的工作原理	107
第三节 调幅与检波	108
一、调幅的基本概念	108
二、高电平调幅电路	109
三、二极管包络检波电路	110
第四节 调频与鉴频	111

一、调频的基本概念	111
二、调频电路	112
三、鉴频电路	112
习题六	113
第七章 直流电源	115
第一节 整流电路	115
一、单相半波整流电路	115
二、整流电路的主要参数	116
三、单相桥式整流电路	117
四、三相桥式整流电路	118
五、倍压整流电路	120
第二节 滤波电路	121
一、电容滤波电路	121
二、电感滤波电路	122
三、 π 型滤波电路	123
第三节 稳压电路	123
一、稳压管稳压电路	123
二、串联型稳压电路	125
三、集成稳压器	126
四、稳压电源的主要性能指标	127
第四节 开关型稳压电路	127
一、开关型稳压电路的特点	127
二、串联开关型稳压电路组成及工作原理	127
第五节 可控硅整流电路	129
一、可控硅的结构与导通条件	129
二、单结晶体管及触发电路	131
三、单相桥式可控整流电路	132
习题七	133
第八章 门电路与组合逻辑电路	136
第一节 数字电路概述与计数制	136
一、模拟量和数字量	136
二、计数制	137
第二节 逻辑门电路	138
一、基本逻辑门电路	138
二、集成门电路	141
第三节 组合逻辑电路的分析与设计	145
一、逻辑代数基础	145
二、逻辑函数的化简与转换	146
三、组合逻辑电路的分析	148

四、组合逻辑电路的设计	149
第四节 常用组合逻辑电路	150
一、加法器	150
二、编码器	151
三、译码器和数码显示	154
四、数据选择器	157
习题八	158
第九章 触发器及时序逻辑电路	160
第一节 双稳态触发器	160
一、RS 触发器	160
二、JK 触发器	162
三、D 触发器	164
四、T 触发器	165
第二节 时序逻辑电路	165
一、数码寄存器	165
二、移位寄存器	166
三、二进制计数器	167
四、十进制计数器	171
第三节 脉冲的产生与整形	172
一、多谐振荡器	172
二、施密特触发器	173
三、单稳态触发器	175
第四节 555 定时器及其应用	176
一、555 定时器	176
二、555 定时器的应用	178
习题九	181
第十章 A/D 与 D/A 转换器	183
第一节 D/A 转换器	183
一、D/A 转换器的工作原理	183
二、D/A 转换器的主要技术指标	185
三、集成 D/A 转换器	185
四、D/A 转换器的输出方式	186
第二节 A/D 转换器	187
一、A/D 转换器的工作原理	187
二、A/D 转换器的主要技术指标	188
三、集成 A/D 转换器	189
第三节 A/D 与 D/A 转换器的应用举例	190
习题十	191

第十一章 医用仪器干扰的抑制和安全用电	193
第一节 干扰与抑制	193
一、磁场干扰	193
二、电场干扰	194
三、高频电磁场干扰	194
四、仪器接地点不正确而引起的干扰	195
五、仪器之间连接不正确而引起的干扰	197
第二节 屏蔽	197
一、电场屏蔽	198
二、磁场屏蔽	198
三、高频电磁场的屏蔽	200
四、放射线的屏蔽	201
第三节 安全用电	202
一、人体的导电	202
二、电击的类型	202
三、电击的因素	203
四、防止电击的主要措施	205
习题十一	205
参考文献	207
附录一 检波二极管和整流器件	208
一、半导体分立器件型号命名方法	208
二、检波二极管（锗管）	209
三、整流二极管（硅管）	209
四、桥式整流器（整流桥）	210
五、高压整流硅堆	210
附录二 稳压二极管和集成稳压器	211
一、稳压二极管	211
二、CW7800 和 CW7900 系列集成稳压器	211
附录三 晶体三极管	212
一、小功率晶体三极管	212
二、低频大功率晶体三极管	213
三、高频大功率晶体三极管	213
附录四 集成运算放大器	214
一、半导体集成电路型号命名方法	214
二、通用型集成运放	215
三、低功耗型集成运放	215
四、高精度型集成运放	216
五、高输入阻抗型集成运放	216

六、高速型和宽带型集成运放·····	217
七、高压型集成运放·····	217
附录五 CMOS4000 系列数字电路的名称与型号对照 ·····	218
附录六 常用逻辑符号对照表 ·····	219
中英文名词索引 ·····	221
英中文名词索引 ·····	224

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、基本理论是学习本门课程的基础,其原理和方法已在各种仪器的设计中得到了广泛的应用。本章主要介绍基础电路理论,内容分为直流电路、电路的暂态过程、正弦交流电路三部分,首先从电路分析的基本概念和基本定律出发,再推广到电路暂态过程和正弦交流电路的分析。掌握本章内容将为后面各章的学习奠定基础。

第一节 直流电路

一、电路的基本概念

电路(circuit)是电流所流过的路径,是为了某种需要由某些设备或元件按一定方式组合起来的,一般由电源、负载和中间环节三部分组成。以手电筒为例,电路由电池、灯泡、开关和导线构成,可以参照如图 1-1 所示的电路模型代表,由电池(电源)、负载电阻 R_L (灯泡)以及开关 K 和导线(中间环节)组成, 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。

为了方便进行分析和计算,常用电路模型来表征实际电路。电路的模型化就是将实际器件用理想化的电阻、电容、电感和电源元件来表征,以下讨论的电路均是指电路模型。

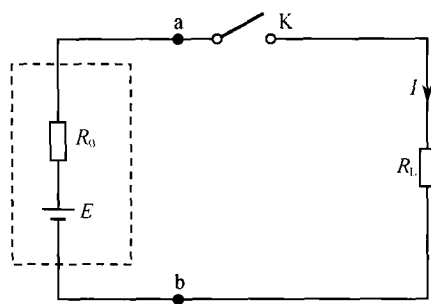


图 1-1 电路基本构成

二、电流和电压的参考方向

电荷在电场作用下的定向移动叫电流(current)。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,单位为安培(A);式中的 U 是电压,单位为伏特(V); R 是电路的电阻,它反映了电路对电流阻碍作用的大小,单位为欧姆(Ω), G 是电阻 R 的倒数,称为电导(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

越弱。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, $1\text{S} = 1\Omega^{-1}$ 。

电流和电压的方向有实际方向和参考方向之分,习惯上将正电荷运动的方向规定为电流的方向,电压的方向则规定为由高电势端指向低电势端。但在分析复杂电路之前,往往无法预先判定电流、电压的实际方向,故在计算时须设定一个方向为正方向,即参考方向。如图 1-2 所示,实际方向用虚线箭头表示,电流参考方向用实线箭头表示,电压参考方向用“+”、“-”极性表示。参考方向与实际方向相同时,计算出的电压、电流值为正值,若相反则为负值。

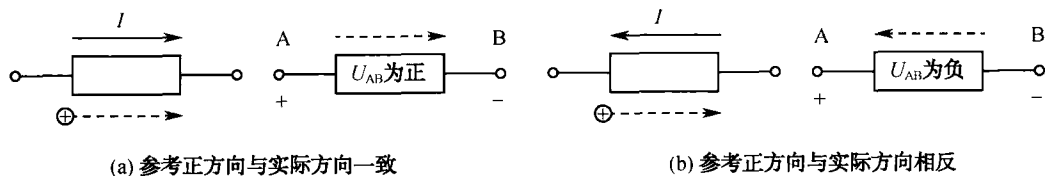


图 1-2 电流和电压的方向

三、基尔霍夫定律

在实际应用中,有些电路比较复杂,如图 1-3 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 1-3 中的 a、b、c、d 各点都是节点。由电流的连续性可得到基尔霍夫第一定律:流入节点的电流之和等于流出节点电流之和。例如,对于图 1-3 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,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,可以先假定一个参考方向,最后由计算结果来确定它的实际方向,如果计算值为正,则实际方向与参考方向相同;如果计算值为负,则实际方向与参考方向相反。

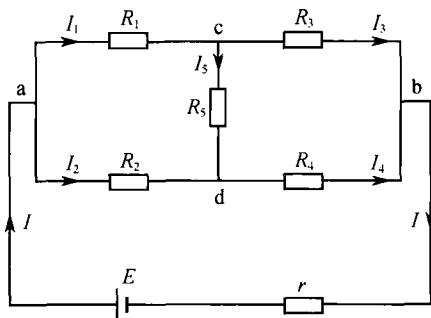


图 1-3 支路和节点

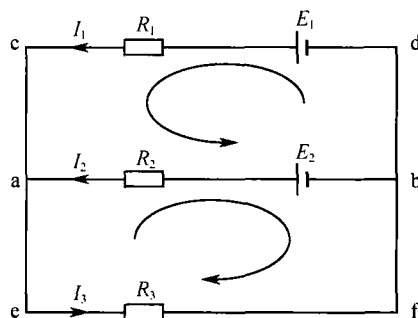


图 1-4 选取闭合回路及其绕行方向

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 1-4 所示, a、b、d、c、a 和 a、b、f、e、a 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 1-4 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 的值。

【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 $(n-1)$ 个彼此独立的节点电流方程,选择独立节点的方法是每个方程中有一个新的电流,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支路。

四、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 1-5(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 1-5(b)所示,且内阻 R_0 愈大,下降愈多。

当图 1-5(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 1-5(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 1-6(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

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

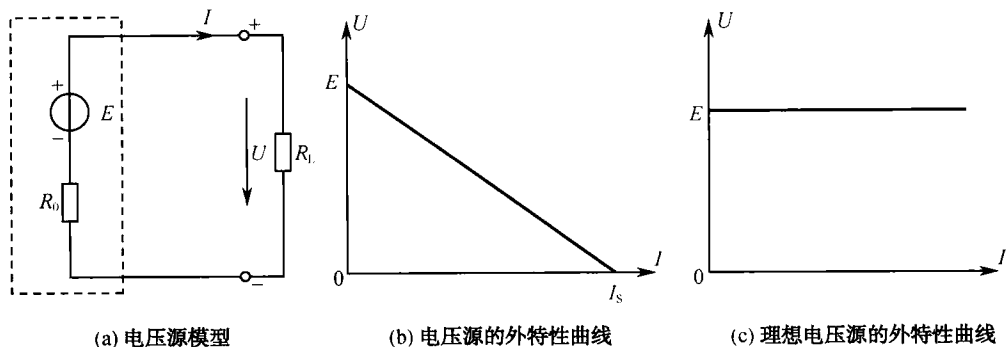


图 1-5 电压源及其伏安特性

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 1-6(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 1-6(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。

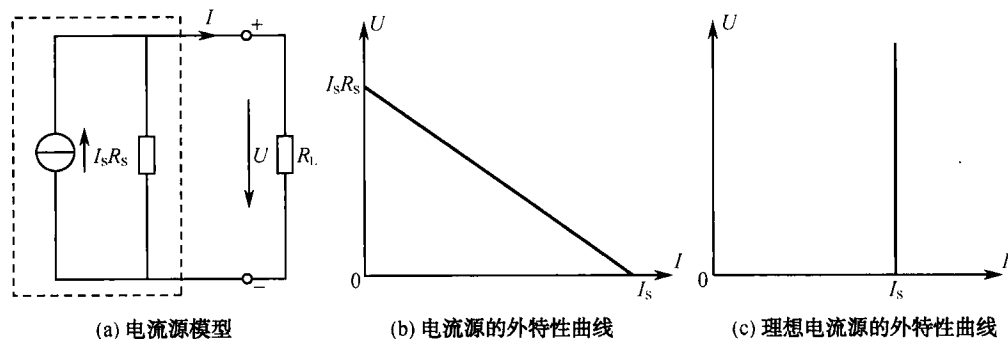


图 1-6 电流源及其伏安特性

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 1-5(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 1-6(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 $E = 10V$, 当将它转换成电流源时, 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 $E = I_S R_S = I_S R_0 = 3A \times 5\Omega = 15V$ 。

五、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或某个元件两端的电压, 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, 在此所产生的电流或电压的代数和, 这一规律称之为叠加定理。

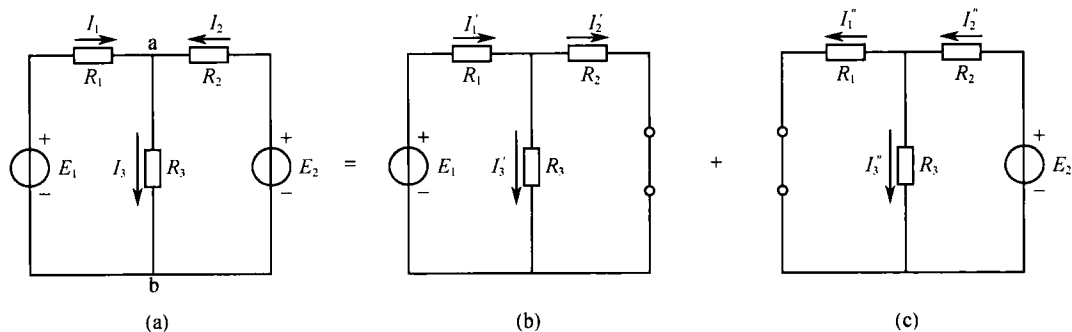


图 1-7 叠加定理

图 1-7(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 1-7(b) 和图 1-7(c) 可知, I_1' 是当电路中只有 E_1 单独作用时, 在第一支路中所产生的电流。 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

$$I_1' = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} E_1 \quad (1-9)$$

$$I_1'' = \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} E_2 \quad (1-10)$$

得到

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

由于 I_1'' 的方向与 I_1 的参考方向相反, 所以取负号。

同理

$$I_2 = I_2'' - I_2' \quad (1-12)$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' \quad (1-13)$$

要使电路中只有一个电源单独作用, 应假设其他电源不存在(即将各个理想电压源短路, 令其电动势为零; 各个理想电流源开路, 令其电流为零), 但其内阻不能忽略。

注意叠加定理仅适用于线性电路的计算, 因而计算功率就不适用。

六、戴维南定理和诺顿定理

1. 戴维南定理 戴维南定理指出: 任何一个含源线性二端网络都可以等效成为一个理想电压源和内阻串联的电源。等效电源的电动势 E 等于该含源二端网络的开路电压(即该二端网络与外电路断开时其两端点之间的电压), 而内阻 R_0 则等于此二端网络内部所有电源都为零时(即各个理想电压源短路, 理想电流源开路)的两个输出端点之间的等效电阻。

在一个电路中, 往往只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