



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

全国高等医药院校教材
供医学影像学专业用

医学电子学基础

主编 高翠霞



人民卫生出版社

面向 21 世纪课程教材

全国高等医药院校教材

供医学影像学专业用

医学电子学基础

主编 高翠霞

编者 (以姓氏笔画为序)

王先运 (泰山医学院)

王晨光 (哈尔滨医科大学)

李伟鹏 (第一军医大学)

陈仲本 (中山医科大学)

况明星 (江西医学院)

高翠霞 (哈尔滨医科大学)

郭明霞 (天津医科大学)

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

医学电子学基础/高翠霞主编. - 北京:人民卫生出版社,2000

ISBN 7-117-03902-7

I. 医… II. 高… III. 医用电子学 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 39271 号

医学电子学基础

主 编:高 翠 霞

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

印 刷:北京人卫印刷厂

经 销:新华书店

开 本:850×1168 1/16 印张:21

字 数:433 千字

版 次:2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:00 001—5 050

标准书号:ISBN 7-117-03902-7/R·3903

定 价:30.00 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)

全国高等医药院校医学影像学专业规划教材出版说明

为了适应我国高等医药院校医学影像学教育的改革和发展,满足教学需要,卫生部教材办公室于1999年4月组织成立了高等医药院校医学影像学专业教材评审委员会,并决定组织编写面向21世纪医学影像学专业规划教材。根据医学影像学专业的业务培养目标,即培养具有基础医学、临床医学和现代医学影像学的基本理论知识及能力,能在医疗卫生单位从事医学影像诊断、介入放射学和医学成像技术等方面的医学高级专门人才的要求,评委会讨论确定了医学影像学专业规划教材的品种和编写原则。此套教材亦是国家教育部《面向21世纪医学影像专业课程体系与教学手段的改革》课题的重要组成部分。它除供本科医学影像学专业教学使用外,亦可供专科医学影像学专业和从事医学影像方面工作的临床医生选用。本套教材共7种,教材目录如下:

- | | |
|--------------|-------|
| 1. 人体断面解剖学 | 姜树学主编 |
| 2. 医学影像物理学 | 张泽宝主编 |
| 3. 医学电子学基础 | 高翠霞主编 |
| 4. 医学影像设备学 | 张里仁主编 |
| 5. 医学影像检查技术学 | 张云亭主编 |
| 6. 医学影像诊断学 | 吴恩惠主编 |
| 7. 介入放射学 | 郭启勇主编 |

以上教材均由人民卫生出版社出版。

卫生部教材办公室

全国高等医药院校医学影像学专业教材评审委员会

主任委员:吴恩惠

委员(以姓氏笔画为序)

于树江	白人驹	刘望彭
张雪林	孟俊非	袁聿德
郭启勇		

秘书:白人驹

前 言

本教材是根据卫生部医学影像学专业教材评审委员会的要求编写而成的。

为适应我国目前医学影像学专业迅速发展的现状,本教材以加强影像学专业临床医师的基础理论、基本知识和基本技能为目的,在电子线路和电子技术方面,为学生学习《医学影像物理学》、《医学影像设备学》等后续课程奠定必要的理论基础。

本教材共分十一章。考虑到医学专业学生的相关知识结构,从使用者的角度出发,首先注意加强学生的电路基础知识,然后在阐述滤波、放大、振荡、调制与解调、脉冲和数字电路时,强调各种电路的基本工作原理、特性及性能指标;以分立元件为基础,突出集成运算放大器及其它集成电路的应用;避免过多地涉及电路参数的计算和集成块内部复杂的电路,减少繁琐的数学推导,定性叙述时力求通俗易懂;在内容编排上作到从易到难,解难为易。在介绍生物医学传感器、信号的显示和记录、干扰的抑制、安全用电时,注意强调医学影像设备和设施的工作原理、性能以及使仪器和操作人员均处于良好工作状态的必备知识,使学生了解医学影像设备的发展趋势,避免涉及其结构中复杂电路和机械部分。内容叙述时,层次清楚,概念准确,便于自学。

本书编写工作得到了卫生部教材办公室及医学影像学专业教材评审委员会指导;同时得到了哈尔滨医科大学、中山医科大学、天津医科大学、第一军医大学、江西医学院和泰山医学院的支持;编写会议得到哈尔滨医科大学和中山医科大学的大力协助,全书插图由王晨光绘制,在此,一并表示感谢。最后,我们必须提及哈尔滨医科大学已经故去的刘骥教授,他主编的《医用电子学》对本书的编写起到指导作用,在此,我们表示深切的怀念。

由于我们对医学影像学专业的电子学所包含的知识深度、广度还正在探索之中,加之编者水平有限,难免有不足甚至错误之处,望使用者给予指正,以便使该专业教材不断完善。

编 者

2000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、戴维南定理	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	11
第三节 交流电路	12
一、正弦交流电.....	13
二、R、C、L 在交流电路中的特性	13
三、RCL 串联电路及其谐振	15
四、LC 并联谐振回路	17
五、RC 串联电路	18
习题一	19
第二章 放大器的基本原理	22
第一节 晶体二极管	22
一、半导体的导电特性.....	22
二、PN 结的形成及特性	23
三、二极管的结构及特性.....	25
四、稳压管.....	26
第二节 晶体三极管	27
一、晶体三极管的结构.....	27
二、晶体管的放大作用.....	28
三、晶体管的特性曲线.....	30
四、晶体管的主要参数.....	32
第三节 基本放大电路	34
一、基本放大电路的组成.....	34

二、放大电路的静态工作点	35
三、放大电路的动态分析	37
四、静态工作点的稳定	43
第四节 放大器的主要性能指标	45
第五节 多级放大器	48
一、多级放大器的放大倍数	49
二、输入电阻和输出电阻	50
第六节 场效应管放大器	51
一、绝缘栅场效应管	52
二、场效应管的基本放大电路	57
习题二	58
第三章 生物医学常用放大器	61
第一节 生物医学信号的特点及频谱	61
一、生物电信号的特点及其放大器	61
二、生物医学信号的频谱	63
第二节 常用滤波电路	66
一、高通滤波	67
二、低通滤波	68
三、带通滤波	69
四、带阻滤波	70
第三节 负反馈放大器	71
一、反馈的基本概念和分类	71
二、几种负反馈电路	72
三、负反馈对放大器性能的改善	76
第四节 直流放大器	79
一、直流放大器的级间耦合	79
二、差分放大器	81
三、调制型直流放大器	84
第五节 功率放大器	87
一、甲类功率放大器	88
二、变压器耦合推挽功率放大器	88
三、无变压器耦合功率放大器	89
习题三	91
第四章 集成运算放大器	92
第一节 运算放大器的基本知识	92

一、集成运算放大器的组成	92
二、集成运算放大器的使用	93
三、集成运算放大器的主要性能指标	95
四、集成运算放大器的理想模型	95
第二节 运算放大器的基本电路	96
一、反相放大器	96
二、同相放大器	98
三、差分放大器	99
第三节 运算放大器的应用	100
一、加法和减法运算电路	100
二、积分和微分运算电路	101
三、对数和反对数运算电路	102
四、测量放大器	104
五、电压比较器	108
六、有源滤波电路	108
习题四	110
第五章 振荡与调制	113
第一节 RC 正弦波振荡器	113
一、自激振荡的基本原理	113
二、RC 串并联选频电路	115
三、文氏桥式 RC 振荡器	116
第二节 LC 正弦波振荡器	117
一、简单调谐放大器	117
二、变压器反馈式振荡器	118
三、电感反馈式振荡器	119
四、电容反馈式振荡器	120
第三节 晶体正弦波振荡器	121
一、石英晶体的结构和电特性	121
二、并联型晶体振荡器	123
三、串联型晶体振荡器	124
第四节 调幅与检波	124
一、调幅的基本概念	124
二、晶体三极管调幅电路	127
三、二极管幅度检波器	129
第五节 调频与鉴频	130
一、调频的基本概念	130

二、调频电路	131
三、鉴频电路	134
第六节 信号源的调制和解调	137
一、信号源的调制	137
二、二极管环形解调器	138
三、相敏放大器	139
习题五	141
第六章 直流稳压电源	143
第一节 整流滤波电路	143
一、整流电路	143
二、滤波电路	147
第二节 晶体管稳压电路	149
一、稳压管稳压电路	149
二、串联型稳压电路	150
三、集成稳压器	152
四、稳压电源的主要性能指标	154
第三节 直流电压变换器	155
一、直流变换器的基本原理	155
二、推挽式直流变换器	156
第四节 可控硅	158
一、可控硅的结构和工作原理	158
二、可控硅的伏安特性	160
三、可控硅整流	161
四、可控硅的保护措施	162
习题六	163
第七章 脉冲电路	165
第一节 脉冲电路的基本知识	165
一、脉冲的主要参数	165
二、RC 分压电路	166
三、脉冲的微分	168
四、计数率计电路——泵电路	169
五、削波、限幅与钳位	170
第二节 晶体管反相器	173
一、晶体三极管的开关特性	173
二、反相器	173

第三节 脉冲发生器	175
一、多谐振荡器	175
二、单稳态触发器	178
三、双稳态触发器	181
四、单结晶体管振荡器	183
五、间歇振荡器	186
第四节 脉冲的整形与鉴别	188
一、二极管幅度鉴别电路	188
二、施密特触发器	188
第五节 脉冲的调制与解调	195
一、脉冲调制原理	195
二、脉冲的解调	197
习题七	199
第八章 数字逻辑电路	203
第一节 基本逻辑电路	203
一、基本逻辑门电路	203
二、集成门电路	206
三、门电路的主要性能	208
第二节 双稳态触发器	209
一、RS 触发器	209
二、主从式触发器	212
三、几种常用触发器	213
第三节 脉冲的计数和显示	215
一、计数制	215
二、二进制计数器	217
三、十进制计数器	221
四、数码显示	223
第四节 数模和模数转换	225
一、数模转换器	226
二、模数转换器	230
习题八	231
第九章 生物医学传感器	234
第一节 传感器的基本知识	234
一、传感器的定义及分类	234
二、生物医学传感器的作用	235

三、生物医学传感器的主要指标	236
四、直流电桥与交流电桥	237
第二节 生物医学电极	240
一、生物医学电极的各种电位	241
二、电极的阻抗特性	243
三、电极的分类	245
第三节 物理传感器的医学应用	247
一、温度的测量	247
二、生物体内压力及呼吸的测量	250
三、血流量的测量	253
四、光电式探头	254
五、超声探头	260
第四节 化学传感器的医学应用	261
一、生物体中离子浓度的测量	261
二、血液中氧、二氧化碳分压测量	263
第五节 生物传感器	265
一、酶传感器	266
二、微生物传感器	266
三、药物传感器	267
习题九	267
第十章 医用仪器的显示和记录装置	269
第一节 显像管和显示器	269
一、显像管	269
二、扫描成像原理	271
三、显示器的组成	273
第二节 直接描记式装置	274
一、描笔偏转式记录器	274
二、自动平衡式记录器	276
第三节 影像设备中常见的输出装置	278
一、医用激光相机	278
二、彩色视频打印机	279
三、钢针打印机	280
四、激光打印机	282
第四节 磁带记录器	283
一、磁带记录原理	283
二、模拟式磁带记录装置	286

三、数字式磁带记录装置	286
第五节 光盘记录装置	289
一、只读式光盘存储装置	289
二、一次性可写入光盘记录装置	292
三、可重写式光盘记录装置	294
四、可刻录光盘记录装置	296
习题十	296
第十一章 医用仪器干扰的抑制和安全用电	298
第一节 干扰与抑制	298
一、磁场干扰	298
二、电场干扰	299
三、高频电磁场干扰	301
四、仪器接地点不正确而引起的干扰	304
五、仪器之间连接不正确而引起的干扰	305
第二节 屏蔽	307
一、电场屏蔽	307
二、磁场屏蔽	308
三、高频电磁场的屏蔽	310
四、医用屏蔽室	311
五、放射线的屏蔽	312
第三节 安全用电	313
一、人体的导电	313
二、电击的类型	314
三、电击的因素	315
四、防止电击的主要措施	317
第四节 医用电器的安全检测	318
一、漏电电流的检测	318
二、绝缘电阻的检测	319
三、接地线电阻的检测	320
习题十一	321
附录一 部分集成运算放大器型号对照	322
附录二 部分集成稳压器主要性能及型号对照	323
附录三 部分数字集成电路型号对照	324

第一章 电路基础

况明星 江西医学院

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。本章将介绍直流电路、电路的暂态过程、交流电路等,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(μ A),它们之间的换算关系为, $1A = 1000mA$, $1mA = 1000\mu A$ 。式中的 U 是电压(voltage),它的单位为千伏(kV)、伏(V)、毫伏(mV)和微伏(μ V),它们之间的关系为, $1kV = 1000V$, $1V = 1000mV$, $1mV = 1000\mu V$ 。 R 是电路的电阻(resistance),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($M\Omega$)、千欧($k\Omega$)和欧(Ω),它们的关系为, $1M\Omega = 1000k\Omega$, $1k\Omega = 1000\Omega$ 。

式(1-1)还表明, G 是电阻 R 的倒数,即 $G = 1/R$,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。电导的实用单位是姆欧

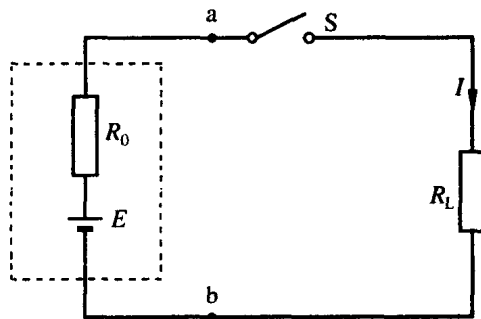


图 1-1 简单电路

(U),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 是一简单电路,它由干电池(电源)、电阻 R_L (负载)以及开关 S 和导线(中间环节)构成,是一种单回路电路,其中 I 是回路的电流, 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 虚线框内所示的部分;开关、负载电阻以及连接导线则统称为外电路。

二、基尔霍夫定律

在实际中,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化、计算出电路的电流和电压,这时需要用基尔霍夫定律(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),三条或三条以上通电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

$$\sum I = 0 \tag{1-2}$$

其中流入节点的电流规定为正,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。

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,abdca 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

$$\sum E + \sum IR = 0 \tag{1-3}$$

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

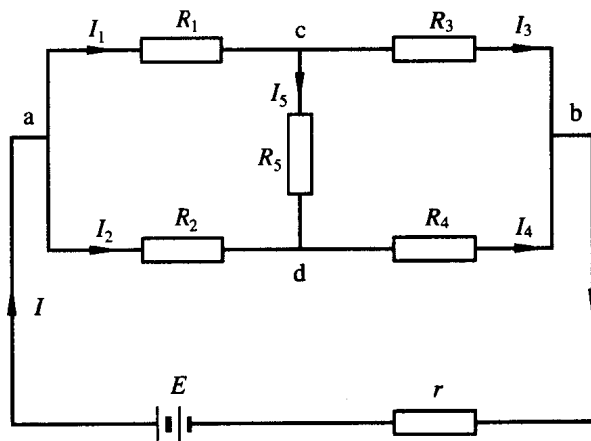


图 1-2 支路和节点

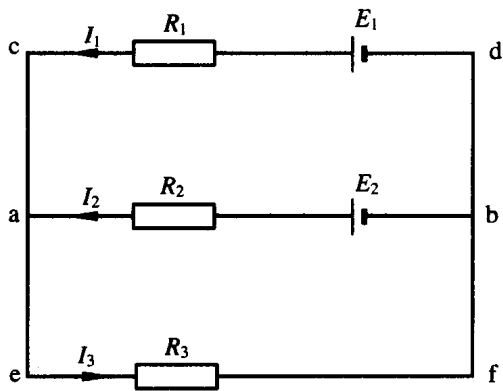


图 1-3 选取闭合回路

方程组。

在使用基尔霍夫定律求解时,电流的方向和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。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,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。

从上面的例子可以看出,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、干电池等,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 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。

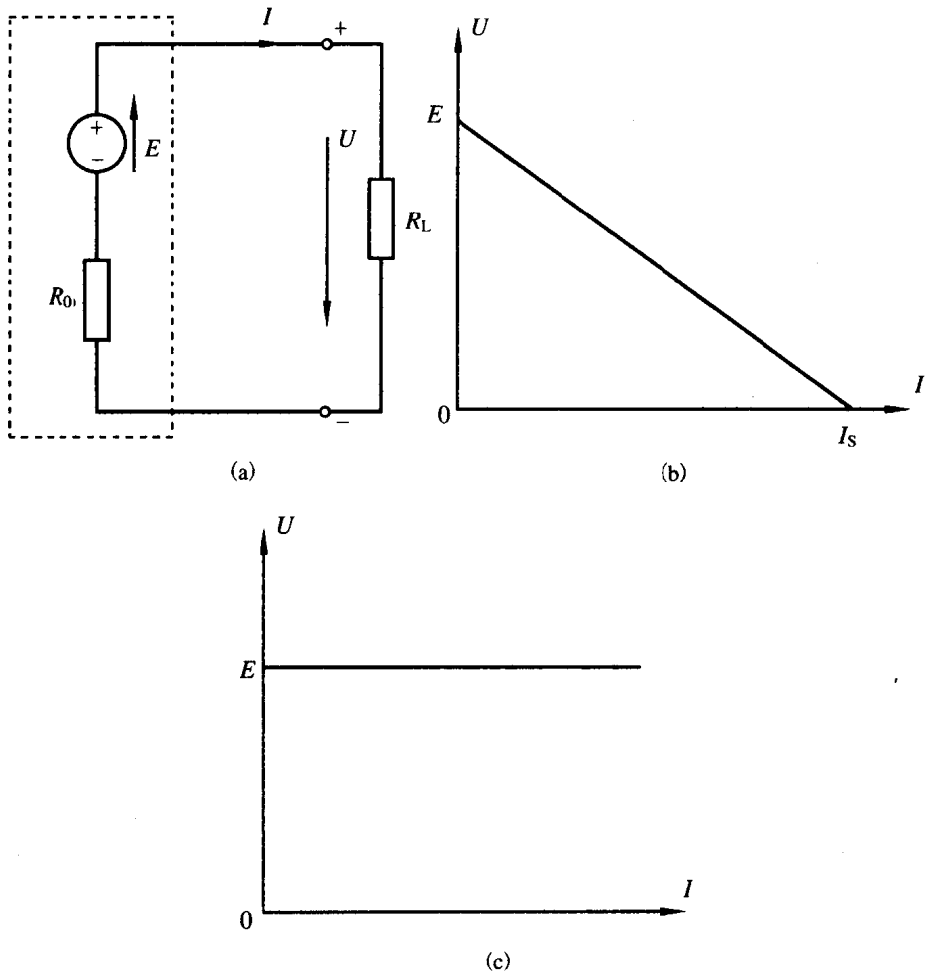


图 1-4 电压源及其伏安特性

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,尽量接近恒压源,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 U/R_S ,电源两端的电压 U 与输出电流 I 的关系为

$$I = I_S - \frac{U}{R_S} \quad (1-5)$$

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 的减小而变小,内阻 R_S 愈小,其分流作用愈大,使输出电流愈小,电流源的伏安特性愈差,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。

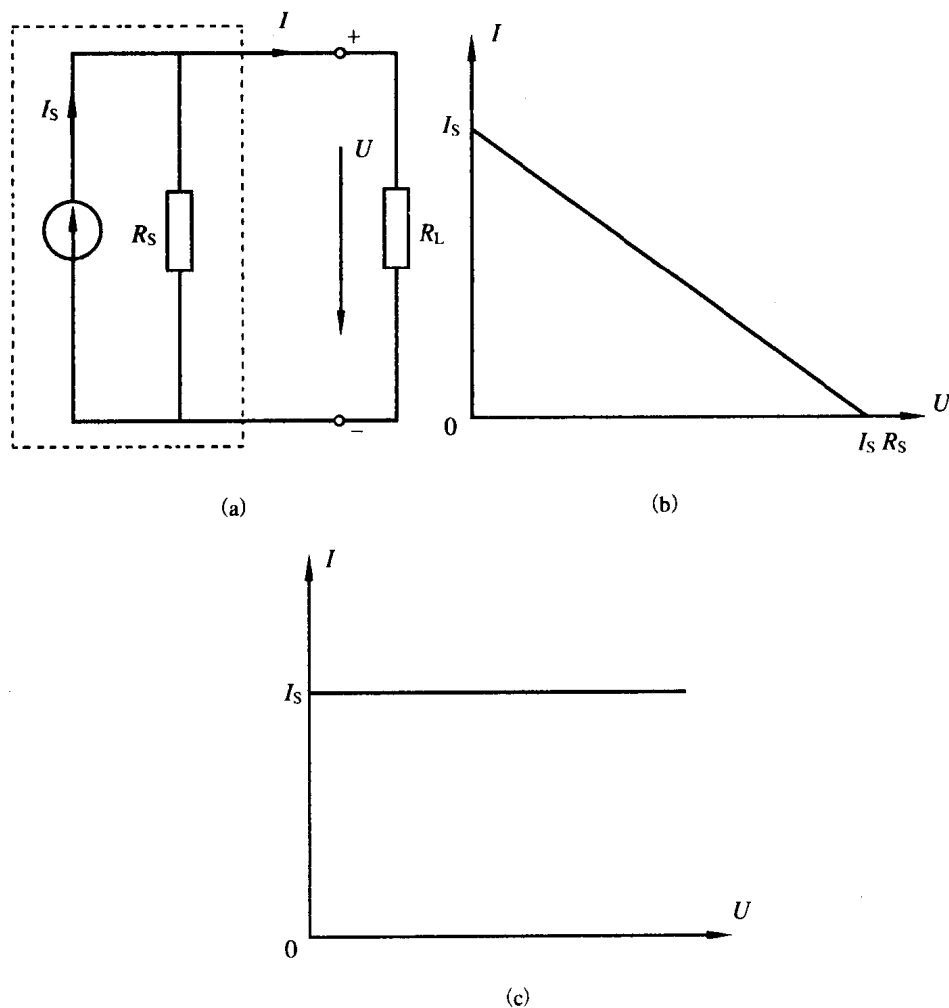


图 1-5 电流源及其伏安特性