



21世纪高职高专规划教材·机电类

电工电子技术

主 审 张树江 主 编 牟淑杰 王玉湘



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

21 世纪高职高专规划教材·机电类

电工电子技术

主 审 张树江
主 编 牟淑杰 王玉湘
副主编 闫 兵 石 馨
参 编 张月静 王晓燕



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

地址：北京市海淀区中关村大街40号

内 容 简 介

本书是根据教育部最新制订的高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求编写的。本书共分13章, 主要内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路和变压器、异步电动机、继电器-接触器控制、工厂供电与安全用电、半导体器件、交流放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、组合逻辑电路、时序逻辑电路、D/A和A/D转换器等。每章后附有小结和适当的习题, 书末附有部分习题答案, 便于自学。

本书可作为高职高专院校、成人高校、中等职业学校机电类、仪表类、计算机类专业等非电专业的教材, 也可供工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术 / 牟淑杰, 王玉湘主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2669 - 1

I. 电… II. ①牟…②王… III. ①电工技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材②电子技术 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 147017 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 375 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 34.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书是根据教育部最新制订的高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求编写的。参加本教材编写工作的都是讲授“电工电子技术基础”课程的一线教师。根据多年的教学经验和体会，结合高职高专教育的特点和要求，在编写本教材的过程中，力求突出以下特色。

1. 本书在编写过程中着重基本概念、基本理论和基本方法，力求简明扼要、通俗易懂。
2. 本书每章文前有引言，文中配有适当例题，章末有小结、习题，并在教材最后配有部分习题答案，方便教与学。
3. 本教材中所用电器元件符号均遵照最新国家标准。

本书由辽宁石油化工大学职业技术学院牟淑杰、沈阳航空职业技术学院王玉湘任主编；辽宁石油化工大学职业技术学院闫兵、沈阳航空职业技术学院石馨任副主编；辽宁石油化工大学职业技术学院张月静、沈阳航空职业技术学院王晓燕参与了部分章节的编写。具体编写分工如下：牟淑杰编写第1章、第2章、第5章；张月静编写第3章、第10章及附录部分；王晓燕编写第4章、第6章；闫兵编写第7章、第8章、第9章；王玉湘编写第11章；石馨编写第12章、第13章。全书由牟淑杰负责统稿，辽宁石油化工大学职业技术学院张树江教授主审，张树江教授对全书进行了认真、仔细审阅，提出了许多具体、宝贵的意见。

由于编者水平，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 功率	5
1.3 电压源、电流源及其等效变换	6
1.3.1 理想电压源和理想电流源	6
1.3.2 实际电源的模型	7
1.3.3 电压源与电流源的等效变换	8
1.3.4 电路的工作状态	10
1.4 基尔霍夫定律	12
1.4.1 基尔霍夫电流定律	12
1.4.2 基尔霍夫电压定律	13
1.5 支路电流法	14
1.6 叠加定理	15
1.7 戴维南定理	17
本章小结	19
思考题与习题	20
第2章 正弦交流电路	26
2.1 正弦电压与电流	26
2.2 正弦量的相量表示法	29
2.2.1 复数	29
2.2.2 相量	30
2.3 交流电路基本元件与基本定律	31
2.3.1 交流电路基本元件	31
2.3.2 交流电路基尔霍夫定律的相量形式	33
2.4 交流电路的分析与计算	34
2.4.1 单一参数的交流电路	34



2.4.2 串联交流电路	37
2.4.3 并联交流电路	40
2.5 正弦交流电路的功率与功率因数	41
2.5.1 有功功率 P	41
2.5.2 无功功率 Q	42
2.5.3 视在功率 S	42
2.5.4 功率因数的提高	43
2.6 电路中的谐振	46
2.6.1 串联电路的谐振	46
2.6.2 并联电路的谐振	47
2.7 三相正弦交流电路	49
2.7.1 三相正弦交流电源	49
2.7.2 三相电源与负载的连接	51
本章小结	58
思考题与习题	59
第3章 磁路和变压器	63
3.1 磁路的基本概念	63
3.1.1 磁路	63
3.1.2 磁场的基本物理量	63
3.1.3 磁性材料与磁滞回线	65
3.2 交流铁芯线圈与电磁铁	65
3.2.1 交流铁芯线圈	65
3.2.2 电磁铁	67
3.3 磁路定律与计算	67
3.3.1 磁路欧姆定律	67
3.3.2 磁路基尔霍夫定律	68
3.4 变压器	69
3.4.1 变压器的用途与结构	69
3.4.2 变压器基本工作原理	69
3.4.3 变压器主要额定值	72
3.4.4 特殊变压器	73
本章小结	75
思考题与习题	76

第4章 异步电动机	78
4.1 三相异步电动机的结构与转动原理	78
4.1.1 三相异步电动机的基本结构	78
4.1.2 三相异步电动机的转动原理	80
4.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	82
4.2.1 三相异步电动机的电路分析	82
4.2.2 三相异步电动机的电磁转矩	82
4.2.3 三相异步电动机的机械特性	83
4.3 三相异步电动机的起动、调速与制动	84
4.3.1 三相异步电动机的起动	84
4.3.2 三相异步电动机的调速	86
4.3.3 三相异步电动机的制动	87
4.4 三相异步电动机的选择	88
4.4.1 三相异步电动机的铭牌	88
4.4.2 三相异步电动机的选择	89
本章小结	91
思考题与习题	91
第5章 继电器—接触器控制	93
5.1 低压电器	93
5.1.1 开关电器	93
5.1.2 主令电器	95
5.1.3 接触器	99
5.1.4 电磁式继电器	100
5.1.5 时间继电器	102
5.1.6 低压保护电器	103
5.2 基本电气识图	105
5.2.1 常用电气图形、符号	105
5.2.2 电气图的分类及绘制原则	108
5.3 基本控制电路	110
5.3.1 点动控制	110
5.3.2 连续控制	110
5.3.3 三相交流异步电动机可逆控制	111
5.3.4 行程控制	113
5.3.5 时间控制	114



87	本章小结	114
87	思考题与习题	115
	第6章 工厂供电与安全用电	117
028	6.1 发电、输电概述	117
028	6.1.1 电能的生产	117
028	6.1.2 电力系统的组成	117
028	6.2 工厂供电	119
028	6.3 安全用电	120
028	6.3.1 安全用电的意义	120
028	6.3.2 电气事故	120
028	6.3.3 安全用电基本知识	122
028	6.3.4 触电急救	124
88	本章小结	127
88	思考题与习题	127
	第7章 半导体器件	129
047	7.1 半导体 PN 结	129
047	7.1.1 半导体的特点	129
047	7.1.2 半导体的分类	129
047	7.1.3 PN 结的形成与特性	131
047	7.2 半导体二极管	133
047	7.2.1 二极管的结构和类型	133
047	7.2.2 二极管的特性及参数	133
047	7.2.3 特殊二极管	135
047	7.3 半导体三极管	137
047	7.3.1 三极管的基本结构	138
047	7.3.2 三极管的电流分配和放大作用	139
047	7.3.3 三极管的特性曲线	140
047	7.3.4 三极管的主要参数	143
047	7.4 场效应管	144
047	7.4.1 N 沟道绝缘栅型场效应管的结构	144
047	7.4.2 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的工作原理	145
047	7.4.3 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的特性曲线	145
047	7.4.4 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	145
047	7.4.5 主要参数	146

本章小结	147
思考题与习题	148
第8章 交流放大电路	151
8.1 基本交流放大电路的组成及各元件的作用	151
8.2 交流放大电路分析	152
8.2.1 共射极基本放大电路的静态分析	152
8.2.2 共射极基本放大电路的动态分析	154
8.2.3 射极输出器	160
8.3 放大器的偏置电路	163
8.3.1 温度对静态工作点的影响	163
8.3.2 三极管分压式偏置放大电路	163
8.4 多级放大电路	166
8.4.1 阻容耦合多级放大电路	167
8.4.2 直接耦合多级放大电路	169
8.4.3 变压器耦合多级放大电路	171
本章小结	171
思考题与习题	172
第9章 集成运算放大器	178
9.1 集成运算放大器简介	178
9.1.1 集成电路概述	178
9.1.2 集成运算放大器的基本组成	179
9.1.3 集成运算放大器的主要参数	180
9.2 放大电路的反馈分析	182
9.2.1 反馈的基本概念	182
9.2.2 负反馈对放大电路性能的影响	184
9.2.3 集成运算放大电路的反馈分析	185
9.2.4 集成运算放大电路反馈分析举例	186
9.3 集成运算放大器的基本运算电路	187
9.3.1 集成运算放大器的基本分析方法	187
9.3.2 集成运算放大器的基本运算电路	189
9.4 运算放大器的应用	195
9.4.1 集成运放的线性应用	195
9.4.2 集成运放的非线性应用	196
9.4.3 集成运放应用的一些实际问题	199



本章小结	202
思考题与习题	202
第10章 直流稳压电源	208
10.1 整流电路	208
10.1.1 单相半波整流电路	208
10.1.2 单相桥式整流电路	209
10.2 滤波电路	211
10.3 直流稳压电路	214
10.3.1 并联型稳压电路	214
10.3.2 串联型稳压电路	215
10.3.3 集成稳压器	215
本章小结	216
思考题与习题	217
第11章 组合逻辑电路	218
11.1 数制与编码	218
11.1.1 数制及其转换	218
11.1.2 编码及表示方法	221
11.2 逻辑代数	222
11.2.1 基本逻辑运算概念	222
11.2.2 基本逻辑运算	223
11.2.3 其他常用逻辑运算	224
11.2.4 逻辑代数中常用的公式和运算规则	225
11.2.5 逻辑函数的公式化简法	227
11.3 组合逻辑电路的分析	229
11.4 组合逻辑电路的应用	231
11.4.1 编码器	231
11.4.2 译码器	233
本章小结	234
思考题与习题	235
第12章 时序逻辑电路	237
12.1 触发器	237
12.1.1 基本RS触发器	237
12.1.2 主从RS触发器	239
12.1.3 同步JK触发器	241

12.1.4 D 触发器	242
12.1.5 T 触发器	243
12.2 时序逻辑电路的分析	244
12.2.1 时序电路的分析方法	244
12.2.2 时序电路分析举例	245
12.3 寄存器	246
12.3.1 由 D 触发器构成的数码寄存器	246
12.3.2 移位寄存器	247
12.4 计数器	248
12.4.1 计数器的特点和分类	248
12.4.2 同步二进制加法计数器	249
12.4.3 N 进制计数器	250
12.5 555 集成定时器	251
本章小结	253
思考题与习题	254
第 13 章 D/A 和 A/D 转换器	256
13.1 D/A 转换器	256
13.1.1 数模转换器基本概念	256
13.1.2 DAC 的功能	257
13.1.3 DAC 的转换特性	257
13.1.4 DAC 的主要技术指标	257
13.1.5 数模转换器的基本工作原理	258
13.2 A/D 转换器	260
13.2.1 ADC 的基本概念和转换原理	260
13.2.2 ADC 工作原理	262
13.2.3 ADC 的主要技术参数	264
本章小结	265
思考题与习题	265
部分思考题与习题答案	267
附录 A 半导体器件命名方法	275
附录 B 常用半导体器件的参数	276
参考文献	282



第 1 章

直流电路

内容提要：本章着重介绍电路的基本概念、主要物理量、电路的基本定律和电路常用的分析方法。通过对本章的学习可以方便地对直流电路进行分析和计算，并为学习各种类型的电工电子电路建立必要的基础。

1.1 电路模型

从日常生活和生产实践可以体会到，用电时一般是将导线、开关、电源和用电设备或电器连接起来，构成一个电流流通的闭合路径，这就是所谓的电路。

电路的形式是多种多样的，但从电路的本质来说，其组成都有电源、负载、中间环节 3 个最基本的部分。图 1-1 所示为手电筒的实际电路，电池把化学能转换成电能供给灯泡，灯泡却把电能转换成光能作照明之用。凡是将化学能、机械能等非电能转换成电能的供电设备称为电源，如干电池、蓄电池和发电机等；凡是将电能转换成热能、光能、机械能等非电能的用电设备称为负载，如电热炉、白炽灯和电动机等；连接电源和负载的部分称为中间环节，如导线、开关等。

电路的种类繁多，具体功能各异，按电路的基本功能上可将其分为两类：① 信号的产生和处理电路（如信息工程，它包括语言、文字、音乐、图像的广播和接收、生产过程中的自动调节、各种输入数据的数值处理、信号的存储等。）；② 电能的传输和转换电路（如电力工程，它包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明，以及交直流电之间的整流和逆变等。）。

为了便于对电路进行分析和计算，将实际元器件近似化、理想化，使每一种元器件只集中表现一种主要的电或磁的性能，这种理想化元器件就是实际元器件的模型。

理想化元器件简称电路元件。实际元器件可用一种或几种电路元件的组合来近似地表示。由电路元件构成的电路称为电路模型，图 1-2 所示的是手电筒的电路模型。电路元件用国标规定的图形符号及文字符号表示。

电路理论研究的对象是电路模型而不是实际电路。只要电路模型建立得足够精确，通过对电路模型的研究所获得的结论就能足够正确地反映出实际电路中所出现的情况。习惯上



将电路模型简称为电路。

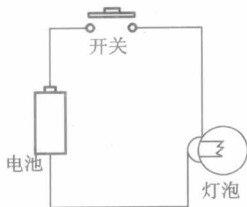


图 1-1 手电筒的实际电路

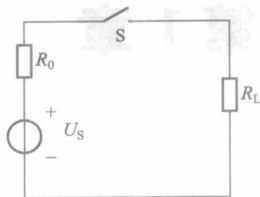


图 1-2 手电筒的电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动就形成了电流。习惯规定以正电荷运动的方向作为电流的实际方向。电流的大小用电流强度（简称电流）来表示。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一截面的电荷量，用符号 i 表示，即

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

式中， dQ 为时间 dt 内通过导体某一截面的电荷量。

大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流，方向不随时间变化的电流称为直流电流，用大写字母 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

在国际单位制（SI）中，在 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C（库仑）时，其电流为 1 A（安培）。常用的单位还有千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μA ）。

在简单电路中，如图 1-3 所示，可以直接判断电流的方向，而在复杂电路中，电流的实际方向有时很难确定，为了解决这一问题，需引入电流的参考方向这一概念。

在电路分析中，任意选定一个方向作为电流的方向，这个方向就称为电流的参考方向，有时又称为电流的正方向。当电流的参考方向与实际方向相同时，电流为正值；反之，则电流为负值。这样，电流的值就有正有负，是一个代数量，其正负可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。

电流的参考方向一般用实线箭头表示，如图 1-4（a）所示；也可以用双下标表示，如图 1-4（b）所示，其中 I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

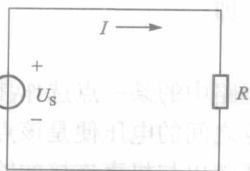


图 1-3 简单电路的电流方向

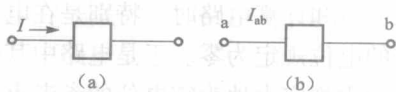


图 1-4 电流参考方向的标注方法

1.2.2 电压

电路中 a、b 两点间的电压，在数值上等于电场力将单位正电荷从电路中 a 点移到电路中 b 点所做的功，用 u_{ab} 表示，即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dQ} \quad (1-3)$$

同时规定：电压的方向为电场力做功使正电荷移动的方向。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压，方向不随时间变化的电压称为直流电压，用大写字母 U 表示，如 a、b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

电压的单位为伏特 (V)，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

分析、计算电路时，要预先设定电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向相同时，电压为正值；反之，则电压为负值。

电压的参考方向既可以用正 (+)、负 (-) 极性表示，如图 1-5 (a) 所示，正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向；也可以用双下标表示，如图 1-5 (b) 所示，其中 U_{ab} 表示 a、b 两点间的电压参考方向是由 a 指向 b。

对于任意一个元件的电流或电压的参考方向可以独立设定。如果电流和电压的参考方向相同，则称之为关联参考方向，如图 1-6 (a) 所示；如果电流和电压的参考方向不相同，则称之为非关联参考方向，如图 1-6 (b) 所示。

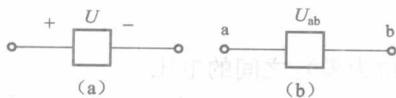


图 1-5 电压参考方向的标注方法

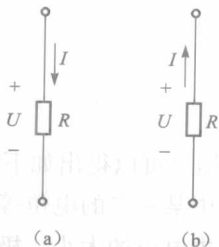


图 1-6 参考方向的关联性

在电路分析中,电压也常用两点之间的电位差来表示,即

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

在分析和计算电路时,特别是在电子技术中,常常将电路中的某一点选作参考点,并将参考点的电位规定为零。于是电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。在电力工程中规定大地为零电位的参考点,在电子电路中,通常以与机壳连接的输入、输出的公共导线为参考点,称之为“地”,在电路图中用符号“ \perp ”表示。电位的单位与电压的单位相同,即伏特(V)、千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)等。

图1-7(a)所示的电路中,如果说a点为参考点,这时各点的电位是

$$V_a = 0 \text{ V}$$

$$V_b = U_{ba} = -60 \text{ V}$$

$$V_c = U_{ca} = +80 \text{ V}$$

$$V_d = U_{da} = +30 \text{ V}$$

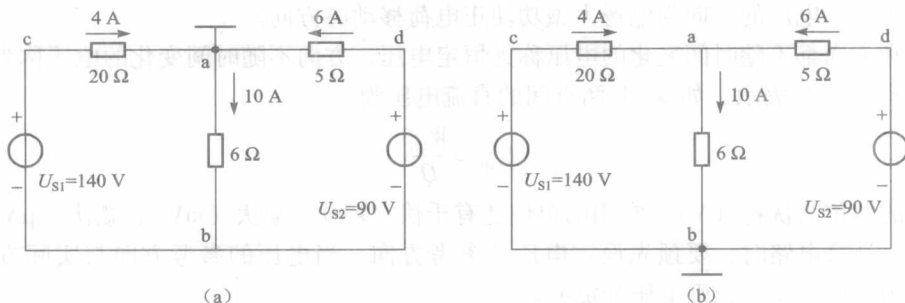


图1-7 电路电位

原则上,参考点可以任意选择,但是参考点不同,各点的电位值就不一样,只有参考点选定之后,电路中各点的电位值才能确定。图1-7(b)所示的电路中,如果设b点为参考点,则各点的电位将是

$$V_b = 0 \text{ V}$$

$$V_a = U_{ab} = +60 \text{ V}$$

$$V_c = U_{cb} = +140 \text{ V}$$

$$V_d = U_{db} = +90 \text{ V}$$

从上面的结果可以得出如下结论。

- (1) 电路中某一点的电位等于该点与参考点(电位为零)之间的电压。
- (2) 电路中电位的大小、极性和参考点的选择有关,而电压的大小、极性则和参考点的选择无关,所以各点电位的高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

【例1-1】试求图1-8所示的电路中,在开关S断开和闭合两种情况下A点的电位 V_A 。

解:当开关S断开时,3个电阻中为同一电流。因此可得

$$\frac{-12 - V_A}{6 + 4} = \frac{V_A - 12}{20}$$

求得: $V_A = -4 \text{ V}$

当开关S闭合时, $V_B = 0$, $4 \text{ k}\Omega$ 和 $20 \text{ k}\Omega$ 电阻为同一电流。因此可得

$$\frac{V_A}{4} = \frac{12 - V_A}{20}$$

求得: $V_A = 2 \text{ V}$

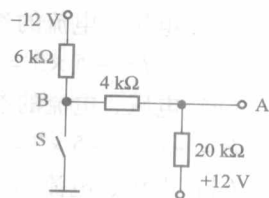


图1-8 例1-1图

1.2.3 功率

单位时间内电场力所做的功称为电功率,简称为功率,用大写字母 P 表示。常用单位是瓦(W)、千瓦(kW)。

$$P = \pm \frac{QU}{t} = \pm UI \quad (1-5)$$

用上式计算电路吸收的功率时,若电压、电流的参考方向关联,则等式的右边取正号,否则取负号。当 $P > 0$ 时,表明元件吸收功率(相当于负载);当 $P < 0$ 时,表明元件释放功率(相当于电源)。

电阻在 t 时间内所消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-6)$$

电能的单位是焦耳(J)。平时所说消耗1度电就是:功率为1kW的用电设备在1h内消耗的电能,即 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

在电路分析中,不仅要计算功率的大小,还要判断是吸收功率,还是释放功率。

【例1-2】如图1-9所示,用方框代表某一电路元件,其电压、电流如图中所示。求图中各元件的功率,并说明该元件实际上是吸收功率还是释放功率。

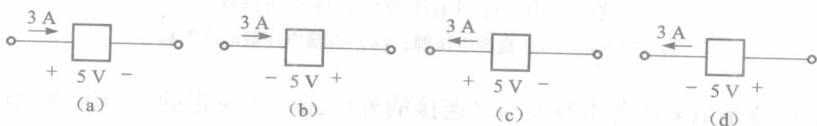


图1-9 例1-2图

解:

(a) 电压、电流的参考方向关联,元件的功率为

$P = UI = 5 \times 3 = 15 \text{ W} > 0$, 元件实际上是吸收功率。

- (b) 电压、电流的参考方向非关联, 元件的功率为
 $P = -UI = -5 \times 3 = -15 \text{ W} < 0$, 元件实际上是释放功率。
- (c) 电压、电流的参考方向非关联, 元件的功率为
 $P = -UI = -5 \times 3 = -15 \text{ W} < 0$, 元件实际上是释放功率。
- (d) 电压、电流的参考方向关联, 元件的功率为
 $P = UI = 5 \times 3 = 15 \text{ W} > 0$, 元件实际上是吸收功率。

1.3 电压源、电流源及其等效变换

为了维持电路中的电流, 电路中必须有能够提供电能的装置, 称为独立电源。独立电源一般分为电压源和电流源。

1.3.1 理想电压源和理想电流源

1. 理想电压源

理想电压源简称电压源, 如图 1-10 (a) 所示。具有如下特点: 电压源两端电压 $u_S(t)$ 为确定的时间函数, 与其流过的电流无关。当 u_S 为直流电压源时, 两端的电压 $u_S(t)$ 不变, 通常用 U_S 表示。有时直流电压源是干电池, 可用图 1-10 (b) 所示的符号表示。

直流电压源的伏安特性是一条不通过原点且与电流轴平行的直线, 其端电压不随电流变化, 如图 1-10 (c) 所示。

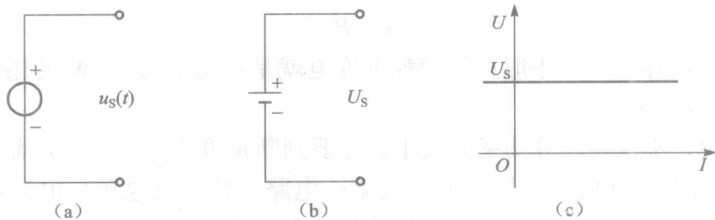


图 1-10 理想电压源伏安特性与符号

(a) 电压源; (b) 直流电压源; (c) 直流电压源的伏安特性

电压源的电流是由电压源本身及与之连接的外电路共同决定的。当电流流过电压源时, 若从电压的低电位流向高电位, 则电压源向外提供电能; 若从电压的高电位流向低电位, 则电压源吸收电能, 如电池充电的情况。

2. 理想电流源

理想电流源简称电流源, 如图 1-11 (a) 所示。电流 $i_S(t)$ 为确定的时间函数, 与电流源两端的电压无关。当 i_S 为直流电流源时, 输出电流是恒定值, $i_S(t)$ 不变, 通常用 I_S 表示。