



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

主编 王 美

主审 罗 海 包春红

电工技术

Diangong Jishu



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工技术

主 编 王 美

副主编 包春红 任晓丹

主 审 罗 海 包春红



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

内 容 简 介

本书根据高等教育特点和人才培养目标,以“基础理论适度,注重技术应用”为原则编写。全书共分七部分内容,分别介绍了直流电路的基本概念、基本定律和分析计算、线性电路和暂态分析计算、三相正弦交流电的分析计算、磁路及变压器、交流异步电动机、低压电气和基本电气控制线路。

本书可作为高等教育机电类专业的电工技术课教材,也可作为自动化、电子、通信等专业的相关课程教材,还可供相关专业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/王美主编. —北京:北京理工大学出版社,2012. 8

ISBN 978-7-5640-6385-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电工技术-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 180418 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 / 北京慧美印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 329 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~1 000 册

定 价 / 38.00 元

责任编辑 / 胡 静

王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

电工技术是研究电磁现象及其规律在工程技术应用领域的一门技术基础课程。为了适应高等教育电工技术课程教学改革的需要，我们组织了多年从事电工电子课程教学的一线教师，本着理论与实践相结合的原则编写了本教材，本教材在课程体系的安排上既注重理论基础知识，又加强了实践技能的训练。在编写的过程中力求做到以下几个方面：

1. 本教材以项目为单元进行编写，每个项目突出工作任务，按照工作任务的知识需求编写内容，每个项目均提出了教学目标，便于任课教师把握教学重点内容，引导学生把握学习主线。

2. 理论知识与实践技能的统一，为了使学生掌握电工理论知识，同时达到必需的技能训练，本教材每一项目均选取了几个技能训练任务。为此，本教材在内容上对基本概念，基本定律及分析方法都作了详尽的阐述，并通过例题、习题和实例来加深学生对课程内容的理解和掌握，同时让学生了解电工技术与生产生活之间的密切关系。

3. 本教材针对高等教育的特点，以“基础理论适度，注重技术应用”为原则编写，精选教学内容，降低理论难度，注重理论联系实际，选取了多个培养基本技能实验项目，同时为兼顾各专业需要，教材内容基本包含了电工基础主要内容，在教学内容和学时分配上，任课教师可根据需要适当取舍，灵活掌握。

参加本书编写的有王美、罗海、寅英、建梅、刘杰、籍卉林、包春红和任晓丹。其中王美担任主编，包春红、任晓丹任副主编，罗海、包春红担任主审，全书由王美、罗海负责统稿。

由于编者水平有限，书中的错误疏忽在所难免，敬请使用本书的广大师生提出宝贵的意见和建议，以便我们及时改正。

目 录

项目一 直流电路分析	1
1.1 电路的组成与电路模型	1
1.1.1 电路的组成	1
1.1.2 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 电功率	4
1.3 电路的状态	4
1.3.1 通路(负载工作状态)	4
1.3.2 断路(空载运行状态)	5
1.3.3 短路	5
1.4 理想电路元件	6
1.4.1 理想有源元件	6
1.4.2 理想无源元件	7
1.5 基尔霍夫定律	9
1.5.1 几个基本概念	9
1.5.2 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)	9
1.5.3 基尔霍夫电压定律(简称 KVL)	10
1.6 支路电流法	12
1.7 叠加定理	13
1.8 等效电源定理	15
1.8.1 戴维宁定理	15
1.8.2 诺顿定理	18
1.8.3 最大功率传输定理	19
小结	20
任务实施	21
习题	30
项目二 电路的暂态分析	32
2.1 动态电路的基本概念	32
2.2 储能元件	34
2.2.1 电容	34
2.2.2 电感	36

2.2.3 电容、电感的串、并联·····	37
2.3 换路定律·····	38
2.3.1 换路定律·····	38
2.3.2 电路初始值的计算·····	39
2.4 一阶电路的零输入响应·····	41
2.4.1 RC 电路的零输入响应·····	41
2.4.2 RL 电路的零输入响应·····	43
2.5 一阶电路的零状态响应·····	45
2.5.1 RC 电路的零状态响应·····	45
2.5.2 RL 电路的零状态响应·····	47
2.6 一阶电路的全响应·····	48
2.7 一阶电路暂态过程的三要素法·····	50
2.7.1 一阶电路暂态过程的三要素法·····	50
2.7.2 应用三要素法求解响应的步骤·····	50
2.7.3 一阶电路三要素法应用举例·····	51
小结·····	53
任务实施·····	53
习题·····	57
项目三 交流电路测试与分析·····	60
3.1 正弦交流电的基本概念·····	60
3.1.1 交流电的周期、频率和角频率·····	60
3.1.2 交流电的瞬时值、最大值和有效值·····	61
3.1.3 交流电的相位、初相和相位差·····	62
3.2 正弦交流电的相量表示法·····	64
3.2.1 正弦交流电的旋转矢量表示法·····	64
3.2.2 正弦交流电的相量表示法·····	64
3.2.3 同频率正弦量的运算·····	66
3.3 单一参数交流电路分析·····	66
3.3.1 电阻电路·····	67
3.3.2 电容电路·····	68
3.3.3 纯电感电路·····	71
3.4 串联交流电路·····	73
3.4.1 RLC 串联电路·····	73
3.4.2 阻抗串联电路·····	75
3.5 并联交流电路·····	75
3.6 交流电路的功率·····	77
3.7 电路中的谐振·····	81
3.7.1 串联谐振·····	81
3.7.2 并联谐振·····	84

3.8 非正弦周期信号电路	85
3.8.1 非正弦周期信号电路	85
3.8.2 谐波分析和频谱	86
3.8.3 非正弦周期信号的分析与计算	87
小结	90
任务实施	91
习题	99
项目四 三相正弦交流电路	102
4.1 三相电源	102
4.1.1 三相电源的星形连接	103
4.1.2 三相电源的三角形连接	105
4.2 三相负载	106
4.2.1 三相负载的星形连接	106
4.2.2 三相负载的三角形连接	108
4.2.3 三相负载短路、断路的分析	109
4.3 三相功率	112
4.4 安全用电知识	113
4.4.1 电力系统	113
4.4.2 触电事故	113
4.4.3 触电防护	114
4.4.4 静电防护	116
4.4.5 电气防火和防爆	116
小结	117
任务实施	118
习题	122
项目五 变压器原理及其应用	124
5.1 磁路	124
5.1.1 磁场的基本物理量	124
5.1.2 磁路和磁路欧姆定律	127
5.2 变压器	129
5.2.1 变压器的结构	130
5.2.2 变压器的工作原理	132
5.2.3 电流变换	132
5.2.4 变压器的阻抗变换作用	133
5.2.5 变压器的额定值、损耗和效率	134
5.3 几种常见的变压器	135
5.3.1 仪用互感器	135
5.3.2 自耦变压器	137
5.3.3 三相变压器	138

小结	140
任务实施	141
习题	142
项目六 三相异步电动机	143
6.1 异步电动机概述	143
6.2 三相异步电动机的结构	143
6.2.1 定子	144
6.2.2 转子	145
6.2.3 气隙	146
6.3 三相异步电动机的工作原理	146
6.3.1 旋转磁场	146
6.3.2 三相异步电动机的旋转原理	149
6.4 三相异步电动机的铭牌数据	151
6.4.1 铭牌	151
6.4.2 三相异步电动机主要系列简介	152
6.5 三相异步电动机的运行原理	153
6.5.1 旋转磁场对定子绕组的作用	153
6.5.2 旋转磁场对转子绕组的作用	154
6.5.3 三相异步电动机的功率和转矩	155
6.6 三相异步电动机的工作特性	156
6.6.1 三相异步电动机的转矩特性和机械性能	156
6.6.2 三相异步电动机的工作特性分析	157
6.6.3 三相异步电动机的稳定运行区域	158
6.7 三相异步电动机的控制	159
6.7.1 三相异步电动机的启动	159
6.7.2 三相异步电动机的反转	160
6.7.3 三相异步电动机的调速	161
6.7.4 三相异步电动机的制动	162
6.8 三相异步电动机的使用和维护	163
6.8.1 三相异步电动机使用前的检查	163
6.8.2 三相异步电动机启动中的注意事项	163
6.8.3 三相异步电动机运行中的监视	163
6.8.4 电动机的维护保养	163
6.9 单相异步电动机	164
6.9.1 单相异步电动机的工作原理	164
6.9.2 单相异步电动机的基本形式	165
小结	167
任务实施	168
习题	172

项目七 常用低压电气及电气控制线路	174
7.1 常用低压电气	174
7.1.1 低压电气的分类	175
7.1.2 刀开关	175
7.1.3 低压断路器	176
7.1.4 交流接触器	178
7.1.5 继电器	179
7.1.6 熔断器	181
7.1.7 主令电气	183
7.2 三相异步电动机基本控制电路	184
7.2.1 电工用图的分类及其作用	184
7.2.2 三相异步电动机点动控制电路	185
7.2.3 三相异步电动机单方向连续控制线路	187
7.2.4 三相异步电动机单方向点动与连续混合控制的控制电路	188
7.3 三相异步电动机的正、反转控制电路	189
7.3.1 接触器联锁正、反转控制	189
7.3.2 按钮联锁正、反转控制	190
7.3.3 双重联锁正、反转控制	191
7.4 三相异步电动机降压启动控制电路	192
7.4.1 定子绕组回路串电阻或电抗器降压启动	192
7.4.2 自耦变压器降压启动	194
7.4.3 $Y-\Delta$ 变换降压启动	195
7.5 三相异步电动机其他典型控制电路	198
7.5.1 三相异步电动机的行程控制	198
7.5.2 顺序控制电路	199
7.5.3 多地控制电路	201
小结	202
任务实施	203
习题	210
参考答案	215
参考文献	218

项目一

直流电路分析

【工作任务】（万用表使用、电流表、电压表使用、电路连接）

序 号	任务名称
1	万用表、电流表、电压表的使用及测量
2	基尔霍夫定律验证
3	戴维宁定律、叠加定律的验证

【能力目标】

- 1. 掌握电路的组成，能够利用等效方法简化电路。
- 2. 运用基尔霍夫定律分析、计算一般电路。
- 3. 能够运用支路法、叠加定理法、诺顿定理处理一般电路。
- 4. 熟练使用万用表和其他电表测量电路中的物理量。

【知识链接】

1.1 电路的组成与电路模型

1.1.1 电路的组成

电路的基本功能是实现电能的产生、传输、分配和转换，或者是实现电信号的传递和处理。一个完整的实际电路主要由提供电能的设备（例如发电机、干电池等）、传输电能的设备（例如导线、开关等）和使用电能的设备（例如电灯、电视机、电动机等）三部分组成。

1.1.2 电路模型

研究电路特性的方法有两种，一种是用电气仪表测量实际的电路；另一种是将实际的电路抽象为电路模型。用理想电路元器件来代替实际电路元器件构成的电路称为电路模型，简称电路。电路模型是用电路元件的图形符号表示的，常称为电路图。电路图则是用规定的元器件图形反映电路的结构。例如，手电筒电路的模型可由如图 1 - 1（b）所示的电路图表示。

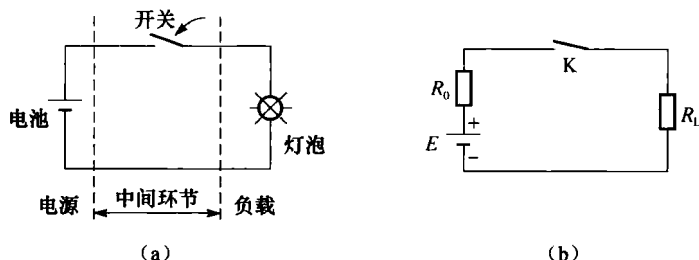


图 1-1 手电筒电路

(a) 手电筒电路; (b) 电路模型

如何实现把实际的电路抽象成为电路模型呢? 实际电路中发生的物理过程是十分复杂的, 电磁现象发生在各器件和导线之中, 相互交织在一起。在电路中, 不关心器件内部情况, 只关心器件端钮上的电压和电流时, 可用一些理想化的电路元件来近似模拟器件端钮上的电气特性。

1.2 电路的基本物理量

电流、电压及电功率等物理量可描述电路的特性, 所以电路分析的基本任务是分析电路中流过的电流、两端的电压及吸收或释放的功率。

1.2.1 电流

(1) 电流的定义

电流是由带负电荷 (电子、负离子) 和带正电荷 (正离子) 粒子的定向运动所形成的。电荷用符号 q 或者 Q 表示, 单位为库仑 (C)。

(2) 电流强度

电流强度表示电流的强弱, 其数值等于单位时间内通过导体横截面的电荷量, 设在 dt 时间内通过某一横截面的电荷量为 dq , 则通过该截面的电流强度为

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

式中, 电流强度 i 的量值和方向是随时间变化的, 称为时变电流。量值和方向做周期性变化且平均值为零的时变电流称为交流电流, 一般用小写字母 i 表示。若电流不随时间变化, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 称为恒定电流, 简称为直流电流, 用大写字母 I 表示, 式 (1-1) 可写成

$$I = Q/t \quad (1-2)$$

电流的国际单位制是安培 (A), 也可用千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μA), 它们之间的关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

(3) 电流的方向

电流不仅有强弱而且有方向, 习惯上规定正电荷运动方向或负电荷运动的反方向为电流的正方向。在简单电路中, 很容易判断出电流的实际方向, 但在复杂的电路中, 很难判断电

流流过的实际方向，所以引入参考方向的概念。参考方向是电路分析和计算之前，人为任意规定的假定方向，与电流的实际方向无关。当电流的实际方向与参考方向相同时，电流为正；反之，电流为负值，如图 1-2 所示。

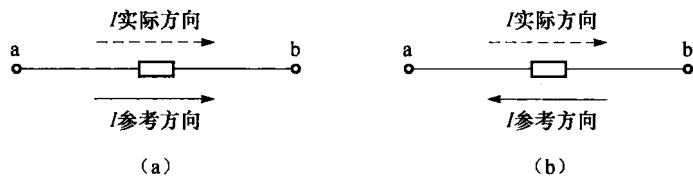


图 1-2 电流参考方向与实际方向的关系

(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

1.2.2 电压

(1) 电压的定义

电路中电荷移动，就会有能量的交换产生。电路中 a, b 两点间的电压为单位正电荷从电路的 a 点移到 b 点电场力所做的功，用 u_{ab} 表示。设 dq 是被从 a 点移到 b 点正电荷的电荷量， dw 是电荷移动过程中所获得或失去的能量；即

$$u_{ab} = dw/dq \quad (1-3)$$

式中， u_{ab} 是随时间变化的量，称为时变电压，一般用小写字母 u 表示。若量值和方向不随时间变化的电压称为恒定电压或直流电压，一般用大写字母 U 表示，式 (1-3) 可写为

$$U = W/Q \quad (1-4)$$

功的单位是焦耳 (J)，电压的单位是伏特 (V)，简称“伏”。实际应用中，计量微小电压或高电压时，以毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 表示，换算关系为

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \text{ } \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

(2) 电位

在电路中选定一个参考点，电场力把单位正电荷从电路的某一点移到该参考点所做的功称为电位。也就是说，电路中任意一点的电位，是该点与参考点之间的电压。电位的单位也是伏 (V)。

(3) 电压的方向

与电流一样，电压有大小也有方向。习惯上规定电压的实际方向为电位降低的方向。在简单电路中很容易判断，但在复杂的电路中很难判断电压的实际方向。为此引入电压的参考方向，当电路两点间电压的实际方向与参考方向相同时，电压为正；反之，电压为负，如图 1-3 所示。

(4) 电压、电流的关联参考方向

分析和计算电路前，必须对电流变量设定电流参考方向，对电压变量设定电压参考方向。电路中二端元件流过的电流和两端电压的参考方向相同时，称为关联参考方向，简称关联方向。反之为非关联参考方向，简称为非关联方向，如图 1-4 所示。

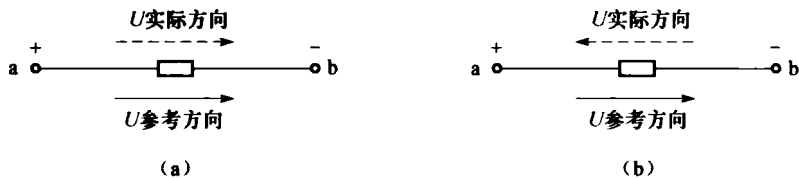


图 1-3 电压参考方向与实际方向的关系

(a) $U > 0$; (b) $U < 0$ 

图 1-4 电压和电流的关联、非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

1.2.3 电功率

单位时间内电场力所做的功叫作电功率，简称为功率，用 P 表示，计算式为

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

功率也可用电压与电流的乘积来表示。式中，功的单位为焦耳 (J)，时间的单位为秒 (s)，功率的单位是瓦特 (W)，简称瓦。

在直流电路中，电压、电流均为恒定值，根据欧姆定律 $U = IR$ 或 $I = U/R$ ，式 (1-5) 可写为

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-6)$$

当电压和电流取关联方向时，计算出的功率 $P = UI$ 为正值 (U, I 同为正或负)，则表明该元件吸收 (消耗) 功率。反之，计算出的功率为负值，则该元件释放 (发出) 功率。

1.3 电路的状态

电路在工作时有三种工作状态，分别是通路 (负载工作状态)、断路 (空载运行状态) 和短路。

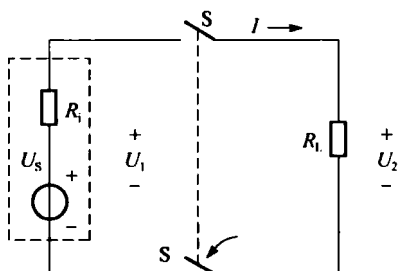


图 1-5 电路的负载状态

1.3.1 通路 (负载工作状态)

在如图 1-5 所示电路中，当开关 S 闭合，图中的电路形成通路，电路中有电流及能量的传输和转换。与电路通路状态对应的电源，此时处于有载状态。

(1) 电路中的电流

电路中的电流的计算式为

$$I = \frac{U_s}{R_i + R_L} \quad (1-7)$$

(2) 电源的端电压

电源的端电压的计算式为

$$U_1 = U_s - R_i I \quad (1-8)$$

该式表明：电源的端电压 U_1 总是小于电源电压 U_s ，两者之差等于电流在电源内阻上产生的压降 (IR_i)，电流越大，则端电压下降得就越多。

若忽略线路上的压降，则负载两端的电压 U_2 等于电源的端电压 U_1 ，即

$$U_2 = U_1 \quad (1-9)$$

(3) 电源的输出功率

$$P_1 = U_1 I = (U_s - IR_i) I = U_s I - R_i I^2 \quad (1-10)$$

式 (1-10) 表明，电源的电动势发出的功率 $U_s I$ 减去电源内阻上所消耗的功率 $R_i I^2$ ，才是供给负载的功率，显然，负载所吸取的功率为

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1 \quad (1-11)$$

根据负载大小，电路在通路时又分为三种工作状态：当电气设备的电流等于额定电流时称为满载工作状态；当电气设备的电流小于额定电流时，称为轻载工作状态；当电气设备的电流大于额定电流时，称为过载工作状态。

1.3.2 断路（空载运行状态）

空载运行状态又称断路或开路状态，它是电路的一个极端运行状态，如图 1-6 所示。

当开关 S 断开或连线断开时，电源和负载未构成闭合电路，就会发生这种状态，这时外电路所呈现的电阻对电源来说是无穷大，此时：

- ① 电路中的电流为零，即 $I=0$ 。
- ② 电源的端电压等于电源的恒定电压。即

$$U_1 = U_s - IR_i = U_s \quad (1-12)$$

- ③ 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零，即

$$P_1 = P_2 = 0 \quad (1-13)$$

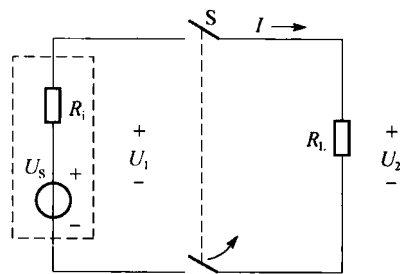


图 1-6 电路的空载状态

1.3.3 短路

电路的短路状态如图 1-7 所示。电源两端被导线连在一起，电流不再流过负载 R_L ，电路的这种状态称为短路。

当电源短路时，外电路所呈现出的电阻可视为零，故电路具有下列特征：

$$I = I_s = \frac{U_s}{R_i} \quad (1-14)$$

由于电源内阻一般非常小，所以电源短路时，电流比正常工作时大得多。因此，当发生电源短路时，应及时切断电路，否则将会引起剧烈发热而使电源、导线等

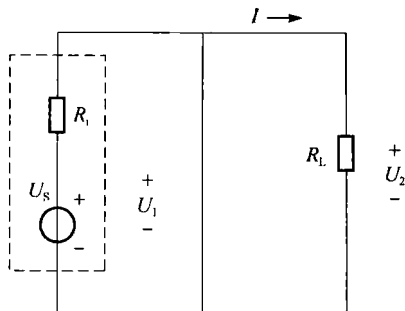


图 1-7 电路的短路状态

烧毁。在电路中应接入过电流保护装置，例如在我们住房的电源进线处安装熔断器或空气短路器就是这个目的。

1.4 理想电路元件

由于在电路分析计算中，只研究电能与负载之间的相互能量转换关系，因此对电路实行控制、保护、测量的中间环节一般均忽略，不加考虑。这样就可以把理想电路元件按负载及电源的性能不同而分为理想有源元件和理想无源元件两大类。

1.4.1 理想有源元件

理想有源元件是从实际电路中抽象出来的。当实际电源本身的功率损耗可忽略不计而只起电源作用时，这种电源便可以用一个理想电源来表示，理想有源元件可分为理想电压源和理想电流源两种。

(1) 理想电压源

如果一个两端元件的电流无论为何值，其电压保持常量 U_s 或按给定的时间函数 $u_s(t)$ 变化，则此两端元件称为理想电压源，简称电压源。电压保持常量的电压源，称为恒定电压源或直流电压源。电压随时间变化的电压源，称为时变电压源。电压随时间周期性变化且平均值为零时的变电压源，称为交流电压源。恒定电压源的符号和 VCR 特性曲线如图 1-8 所示。

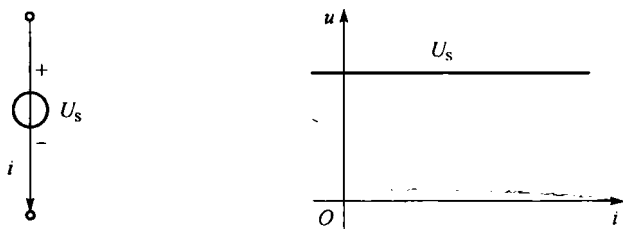


图 1-8 电压源的符号及 VCR 特性曲线

电压源的特点是其电压由电压源本身特性确定，与所接外电路无关，而电压源的电流尚须由与之相连的外电路共同确定。当电压源的电压为零时，其特性曲线与 i 轴重合。

(2) 理想电流源（恒流源）

如果一个二端元件的电压无论为何值，其电流保持常量 I_s 或按给定时间函数 $i_s(t)$ 变化，则此二端元件称为理想电流源，简称为电流源。电流保持常量的电流源，称为恒定电流源或直流电流源。电流随时间变化的电流源，称为时变电流源。电流随时间周期变化且平均值为零的时变电流源，称为交流电流源。恒定电流源的符号和 VCR 特性曲线如图 1-9 所示。

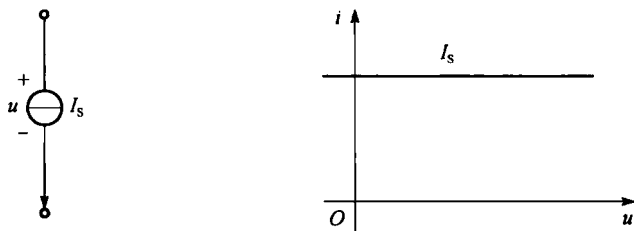


图 1-9 电流源的符号及 VCR 特性曲线

电流源的特点是其电流由电流源本身特性确定,与所接外电路无关,而电流源的电压尚须由与之相连的外电路共同确定。当电流源的电流为零时,其特性曲线与 u 轴重合。

1.4.2 理想无源元件

理想无源元件包括理想电阻元件(简称电阻)、理想电容元件(简称电容)和理想电感元件(简称电感)三种。

(1) 电阻

电阻元件是电路中最常见的一种元件,它是从实际电阻器件中抽象出来的,如电灯、电炉等。因此电阻元件是一种耗能元件。

若把电阻两端的电压取为纵坐标,电流取为横坐标,取一系列的电压和电流值就得到表示二者函数关系的曲线,这条曲线称为电阻的电压—电流特性曲线。由于电压的单位是伏特,电流的单位是安培,故又称其为伏—安特性曲线。

根据电阻性质不同,分为线性电阻和非线性电阻。在关联参考方向下,线性电阻的伏—安特性是一条通过坐标原点的直线,如图 1-10 所示。

伏—安特性不是直线的电阻称为非线性电阻。图 1-11 是二极管的伏—安特性,它对外均呈现非线性电阻特性。

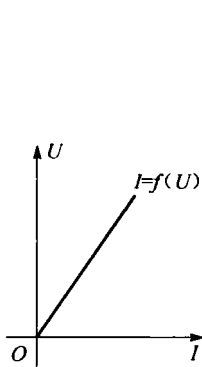


图 1-10 线性电阻特性曲线

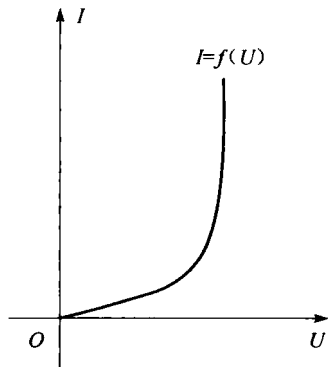


图 1-11 非线性电阻特性曲线

当线性电阻上的电压、电流取关联方向时,根据欧姆定律

$$U = RI$$

式中,电压 U 的单位是伏特(V);电流 I 的单位为安培(A);电阻 R 的单位是欧姆(Ω),电阻的常用单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。

电阻的特性还可以用另一个参数电导 G 来表示,电导 G 表示的是该元件传导电流的能力。电导与电阻的关系为

$$G = \frac{1}{R}$$

在国际单位制中,电导的单位为西门子,简称为西(S)。

根据欧姆定律,在关联方向下电阻的消耗功率为

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R$$

(2) 电容

电容元件是从实际电容器抽象出来的电路模型。实际电容器通常由两块金属板中间充满

绝缘介质构成, 电容器加上电压后, 两块极板上将出现等量正负电荷, 并在两极板间形成电场, 储存电场能。当忽略电容器的漏电阻和电感时, 可将其抽象为只具有储存电场能量性质的电容元件。电容器极板上储存的电量 q 与外加电压 u 成正比, 即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-15)$$

式中, 比例系数 C 称为电容, 是表征电容元件特性的参数。在国际单位制中, 电容的单位为法 (F)。常用单位有皮法 (pF)、微法 (μF) 等, 换算关系式为

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

电容元件的分类与电阻元件的分类相似。其特性曲线是通过坐标原点的一条直线的电容元件称为线性电容元件, 否则称为非线性电容元件。线性电容元件的符号与特性曲线如图 1-12 所示。

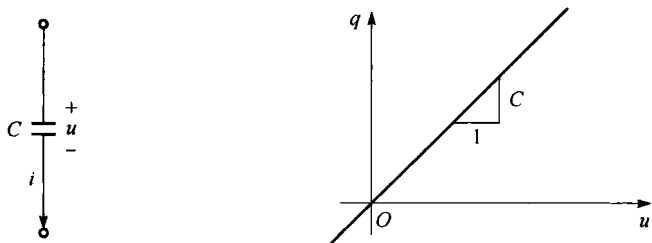


图 1-12 电容元件的符号及特性曲线

在分析电路时, 要利用电路元件的电压—电流关系 (VCR) 来建立电路方程, 对于线性电容元件来说, 在采用电压关联参考方向的情况下, 可以得到关系式

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

式 (1-16) 表明, 电容中的电流与电压对时间的变化率成正比, 它与电阻元件的电压、电流之间存在确定的约束关系不同, 电容电流与此时此刻电压的数值之间没有确定的约束关系。在直流电源激励的电路中, 当各电压、电流均不随时间变化的情况下, 电容元件相当于开路 ($i=0$)。

(3) 电感

电感元件是从实际电感线圈抽象出来的电路模型。当电感线圈通以电流时, 将产生磁通, 在其内部及周围建立磁场, 储存磁场能量。当忽略导线电阻及线圈匝与匝之间的电容时, 可将其抽象为只具有储存磁场能量性质的电感元件。电感上的磁链与电流成正比, 即

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-17)$$

式中, 比例系数 L 称为电感, 是表征电感元件的特征参数。

在国际单位制中, 电感的单位为亨 (H)。当线圈中电流变化率为 1 A/s , 产生 1 V 的感生电动势时, 该电感线圈的电感为 1 H 。工程上也常采用毫亨 (mH) 或微亨 (μH), 换算关系式为

$$1 \mu\text{H} = 10^{-3} \text{ mH} = 10^{-6} \text{ H}$$

电感元件的分类与电容元件分类相似。特性曲线通过原点的一条直线的电感元件称为线