

教育部推荐教材
21世纪高职高专系列规划教材

电工电子技术

主 编 罗 枚
副主编 黄祯祥



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材
21世纪高职高专系列规划教材

电工电子技术

主 编 罗 枚
副主编 黄祯祥
参 编 杜 杨 刘铁生 杨宝兰 司昌练



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 罗枚主编. —北京:北京师范大学出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 303 - 11083 - 4

I. 电… II. 罗… III. ①电工电子 ②电子技术 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 104863 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 高等教育出版社印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260 mm

印 张: 24

字 数: 523 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 华鲁印联

责任校对: 李 菡

责任印制: 李 丽

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

前 言

本书是遵照教育部制定的“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”，紧密配合当前高职高专非电类专业对电工电子技术知识的需要，为推进高职高专创新教育而编写的。本书分十八章，包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、一阶动态电路的分析、磁路和变压器、异步电动机、继电—接触器控制、工厂供电与安全用电、电子电路中常用的器件、基本放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、555 定时器及应用、D/A 和 A/D 转换器、实验及实训项目，共计 18 章。每章后附有小结和习题。书末附有部分习题答案，便于自学。

电工电子技术是一门重要的技术基础课，有着自身的体系和较强的实践性，因此编写本教材时，我们在保证基本概念清晰，基本原理明了，基本知识全面，基本分析方法易懂的基础上，注重职业素质教育与创新能力的培养，并力求：

1. 在保证课程体系完整的前提下，以理论“必需”“够用”为度，突出实践与应用，对与后续课程无多大联系以及不必要的烦琐的理论推导进行了较为合理的简化；

2. 举例分析计算各种电路时，强调的是思路与分析方法以及对基本概念基本原理的理解，对计算过程进行了弱化；

3. 内容全面，理论与实践相结合，编写时对传统经典理论的表述深入浅出，并加强了实践性教学的内容，精编了多个需读者自行设计的创新性实验；

4. 为检查学习效果，每章后配有大量与所学内容匹配的习题，题型多样，并部分给出参考答案，方便读者自学。

本书由陕西工业职业技术学院的罗枚、湘潭大学职业技术学院的黄祯祥任主编，九江职业技术学院杜杨、江西现代职业技术学院的刘铁生、陕西工业职业技术学院司昌练、杨宝兰参编，其中第 1、2、3、4、7 章由罗枚编写，第 5、6 章由司昌练编写，第 8、18 章由杨宝兰编写，第 9、10、11、12 章由黄祯祥编写，第 13、14 章，附录、习题及答案由刘铁生编写，第 15、16、17 章由杜杨编写。全书由罗枚进行了精心安排及统稿工作。

由于编者水平有限，书中难免会存在一些错误与不妥之处，敬请读者与同行批评指正！

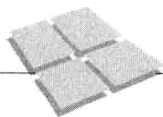
编 者

2010 年 3 月 7 日

目 录

第 1 章 直流电路	(1)
1.1 电路模型	(1)
1.1.1 电路	(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	(2)
1.2.3 电动势	(3)
1.3 电流、电压参考方向	(3)
1.3.1 电流的参考方向	(3)
1.3.2 电压的参考方向	(3)
1.4 功率	(4)
1.5 电阻元件、电感元件和 电容元件	(5)
1.5.1 电阻元件	(5)
1.5.2 电感元件	(5)
1.5.3 电容元件	(6)
1.6 电压源、电流源及其等效 变换	(7)
1.6.1 电压源	(8)
1.6.2 电流源	(8)
1.6.3 实际电源两种模型的等效 变换	(9)
1.6.4 电路的几种状态	(10)
1.7 基尔霍夫定律	(11)
1.7.1 支路、节点、回路	(11)
1.7.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	(11)
1.7.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	(12)

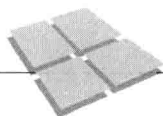
1.7.4 电阻的串联、并联	(13)
1.8 支路电流法	(14)
1.9* 弥尔曼定理	(15)
1.10 叠加定理	(16)
1.11 戴维南定理	(17)
本章小结	(19)
习题	(20)
第 2 章 正弦交流电路	(25)
2.1 正弦量的三要素	(25)
2.1.1 周期、频率、角频率 ...	(25)
2.1.2 幅值与有效值	(26)
2.1.3 初相位和相位差	(26)
2.2 正弦量的相量表示	(27)
2.2.1 复数	(27)
2.2.2 相量	(28)
2.3 电阻、电感、电容元件的 电压电流关系	(30)
2.3.1 电阻元件的交流电路 ...	(30)
2.3.2 电感元件的交流电路 ...	(30)
2.3.3 电容元件的交流电路 ...	(31)
2.4 复阻抗及相量形式的欧姆 定理	(32)
2.5 用相量法分析正弦交流电路	(34)
2.5.1 相量形式的基尔霍夫定律	(34)
2.5.2 用相量法分析正弦交流电路	(35)
2.6 正弦交流电路的功率 ...	(38)
2.6.1 功率	(38)



2.6.2 功率的测量	(39)	4.3.1 一阶电路分析简介	(66)
2.7 正弦电路中的谐振	(41)	4.3.2 一阶电路的三要素求解法	(66)
2.7.1 串联电路的谐振	(41)	4.3.3 一阶电路响应的分析	(67)
2.7.2 并联谐振	(42)	本章小结	(70)
2.8* 非正弦周期电流电路	(43)	习题	(70)
2.8.1 非正弦周期量及其分解	(43)	第5章 磁路和变压器	(73)
2.8.2 非正弦周期电流电路中的有效值、平均值和功率	(44)	5.1 磁路	(73)
2.8.3 非正弦周期电流电路的谐波分析法	(45)	5.1.1 磁场的基本概念	(73)
本章小结	(46)	5.1.2 磁路	(75)
习题	(48)	5.2 变压器的用途及结构	(77)
第3章 三相电路	(53)	5.2.1 变压器用途及分类	(77)
3.1 三相电源	(53)	5.2.2 变压器结构	(78)
3.2 三相电源的连接	(54)	5.3 变压器的工作原理及参数特性	(79)
3.2.1 三相电源的星形(Y)接法	(54)	5.3.1 变压器的变压原理	(79)
3.2.2 三相电源的三角形(Δ)接法	(55)	5.3.2 变压器电流变换原理	(80)
3.3 三相负载的连接	(56)	5.3.3 阻抗变换原理	(80)
3.3.1 单相负载和三相负载	(56)	5.3.4 变压器参数特性	(81)
3.3.2 三相负载的星形连接	(56)	5.4 特殊变压器	(83)
3.3.3 三相负载的三角形连接	(58)	5.4.1 自耦变压器	(84)
3.4 三相电路的功率	(59)	5.4.2 仪用互感器	(84)
本章小结	(61)	5.4.3 弧焊变压器	(86)
习题	(61)	本章小结	(87)
第4章* 一阶动态电路分析	(63)	习题	(87)
4.1 引言	(63)	第6章 异步电动机	(89)
4.1.1 动态电路	(63)	6.1 三相异步电动机的结构及转动原理	(89)
4.1.2 零输入、零状态、全响应	(64)	6.1.1 三相异步电动机的结构	(89)
4.2 电路初始值的计算	(64)	6.1.2 电动机转动原理	(92)
4.2.1 换路定理	(64)	6.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(94)
4.2.2 初始值的计算	(65)	6.2.1 电磁转矩特性	(94)
4.3 一阶电路分析	(66)	6.2.2 三相异步电动机机械特性	(95)
		6.3 三相异步电动机启动、调速与制动	(96)

6.3.1 三相异步电动机的启动	(96)
6.3.2 三相异步电动机调速	(100)
6.3.3 异步电动机的制动	(102)
6.4 三相异步电动机的铭牌及 技术参数	(103)
6.4.1 电动机铭牌	(103)
6.5 电动机的选择	(105)
6.5.1 电动机类型选择	(105)
6.5.2 电动机防护形式等级选择	(106)
6.5.3 电动机额定电压选择	(106)
6.5.4 电动机额定转速选择	(106)
6.5.5 电动机额定功率选择	(107)
6.6* 单相异步电动机	(107)
本章小结	(110)
习题	(111)
第7章 继电器—接触器控制电路	(113)
7.1 常用低压电器	(113)
7.1.1 刀开关	(113)
7.1.2 组合开关	(114)
7.1.3 控制按钮	(115)
7.1.4 行程开关	(115)
7.1.5 熔断器	(115)
7.1.6 交流接触器	(117)
7.1.7 热继电器	(118)
7.1.8 时间继电器	(118)
7.1.9* 速度继电器	(120)
7.1.10 断路器	(120)
7.2 三相异步电动机的基本 控制电路	(121)
7.2.1 点动与自锁控制电路	(121)
7.2.2 互锁控制电路	(124)

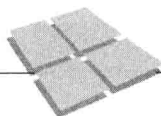
7.2.3 行程控制电路	(125)
7.2.4 多地控制电路	(126)
7.2.5 顺序控制电路	(126)
7.2.6 时间控制电路	(127)
7.2.7* 速度控制电路	(129)
7.3 电气图的绘制与阅读	(130)
7.3.1 电气图的画法规则	(130)
7.3.2 电气图的阅读	(133)
本章小结	(134)
习题	(135)
第8章 工厂供电与安全用电	(137)
8.1 发电、输电概述	(137)
8.1.1 发电厂	(137)
8.1.2 输配电系统	(138)
8.2 工厂供电	(139)
8.2.1 工厂供电的意义及要求	(139)
8.2.2 工厂供电系统	(140)
8.3 安全用电	(142)
8.3.1 触电	(142)
8.3.2 保护接地和保护接中性线	(142)
8.3.3 安全用电常识	(144)
8.4 触电急救	(144)
8.4.1 触电的现场抢救措施	(145)
8.4.2 脱离电源后的判断	(145)
8.4.3 对不同情况的救治	(146)
本章小结	(147)
习题	(148)
第9章 电子电路中常用的器件	(149)
9.1 半导体的基本知识	(149)
9.1.1 半导体的基本特性	(149)
9.1.2 本征半导体	(150)
9.1.3 杂质半导体	(151)
9.2 PN结	(152)
9.2.1 PN结的形成	(153)



9.2.2 PN 结的单向导电性	··· (153)
9.3 晶体二极管	····· (154)
9.3.1 二极管的种类	····· (154)
9.3.2 二极管的特性	····· (155)
9.3.3 二极管的主要参数	····· (155)
9.4 特殊二极管	····· (156)
9.5 晶体三极管	····· (157)
9.5.1 晶体三极管的结构与放大作用	····· (157)
9.5.2 晶体三极管的特性	····· (160)
9.5.3 晶体三极管的主要参数	····· (163)
本章小结	····· (164)
习题	····· (165)
第 10 章 基本放大电路	····· (169)
10.1 基本放大电路的组成及各元件的作用	····· (169)
10.2 放大电路的静态分析	····· (170)
10.2.1 直流通路与静态工作点	····· (170)
10.2.2 静态工作点的近似估算	····· (171)
10.2.3 静态工作点的图解分析法	····· (171)
10.3 放大电路的动态分析	····· (172)
10.3.1 交流通路	····· (172)
10.3.2 动态分析	····· (172)
10.3.3 非线性失真	····· (174)
10.4 放大电路的微变等效电路	····· (176)
10.4.1 晶体三极管的输入端的微变等效	····· (176)
10.4.2 晶体三极管的输出端的微变等效	····· (177)
10.4.3 放大电路的微变等效电路	····· (177)
10.4.4 动态参数的求解	····· (178)

10.5 射极输出器	····· (179)
10.6* 阻容耦合多级放大电路	····· (181)
本章小结	····· (184)
习题	····· (185)
第 11 章 集成运算放大电路	····· (191)
11.1 集成运算放大器的结构特点	····· (191)
11.2 通用型集成运算放大器简介	····· (192)
11.3 集成运算放大器的主要性能指标	····· (193)
11.4 集成运算放大器中的负反馈	····· (194)
11.4.1 反馈概念的建立	····· (194)
11.4.2 反馈的分类及判断	··· (194)
11.4.3 反馈放大电路的一般表达式	····· (197)
11.4.4 负反馈对放大电路性能的影响	····· (197)
11.5 理想集成运算放大器的线性应用	····· (201)
11.5.1 理想集成运算放大器	····· (201)
11.5.2 集成运放的线性工作区	····· (201)
11.5.3 集成运放的非线性工作区	····· (201)
11.5.4 集成运放的线性应用	····· (202)
11.6 理想集成运算放大器的非线性应用	····· (208)
11.6.1 过零电压比较器	····· (208)
11.6.2 任意电平电压比较器	····· (209)
11.6.3 迟滞电压比较器	····· (209)
本章小结	····· (210)
习题	····· (211)

第 12 章 直流稳压电源	(218)	14.1.2 组合逻辑电路的设计	(268)
12.1 单相整流电路	(218)	14.2 常用集成组合逻辑电路	
12.1.1 单相半波整流电路 ..	(219)	及应用	(270)
12.1.2 桥式整流电路	(220)	14.2.1 编码器	(270)
12.2 滤波电路	(223)	14.2.2 译码器	(272)
12.2.1 电容滤波	(223)	14.2.3 数据选择器	(276)
12.2.2 其他滤波电路	(225)	14.2.4 加法器	(279)
12.3 稳压管稳压电路	(226)	14.2.5 数值比较器	(280)
12.4 集成稳压电路	(228)	本章小结	(281)
本章小结	(230)	习题	(282)
习题	(230)	第 15 章 触发器及时序逻辑电路	
第 13 章 逻辑门电路	(235)		(285)
13.1 数制与编码	(235)	15.1 触发器	(285)
13.1.1 数制及数制间的转换		15.1.1 R-S 触发器	(285)
.....	(235)	15.1.2 同步 R-S 触发器	(287)
13.1.2 编码	(240)	15.1.3 D 触发器	(289)
13.2 逻辑代数及应用	(243)	15.1.4 J-K 触发器	(291)
13.3 晶体管的开关作用 ..	(250)	15.1.5 T 触发器	(291)
13.3.1 二极管的开关作用 ..	(251)	15.1.6 触发器逻辑功能的转换	
13.3.2 三极管的开关作用 ..	(251)		(292)
13.4 基本逻辑门电路	(252)	15.2 寄存器	(293)
13.4.1 与门电路	(253)	15.2.1 数据寄存器	(293)
13.4.2 或门电路	(253)	15.2.2 移位寄存器	(294)
13.4.3 非门电路	(254)	15.2.3 锁存器芯片	(296)
13.5* TTL 门电路	(256)	15.3 计数器	(298)
13.5.1 TTL 与非门	(256)	15.3.1 二进制计数器	(299)
13.5.2 集电极开路 OC 门 ..	(257)	15.3.2 十进制计数器	(302)
13.5.3 三态门	(257)	15.3.3 任意进制计数器	(306)
13.5.4 其他常用 TTL 集成门		本章小结	(311)
电路芯片简介	(259)	习题	(312)
13.5.5 TTL 集成电路使用中应		第 16 章 555 定时器及应用	(318)
注意的问题	(259)	16.1 555 定时器的结构	(318)
本章小结	(260)	16.2 555 定时器的工作原理	
习题	(261)		(319)
第 14 章 组合逻辑电路	(266)	16.3 555 定时器的典型应用	
14.1 组合逻辑电路的分析与			(319)
设计	(266)	本章小结	(322)
14.1.1 组合逻辑电路的分析		习题	(322)
.....	(266)		



第 17 章* D/A 和 A/D 转换器

.....	(325)
17.1 D/A 转换电路	(325)
17.1.1 权电阻 D/A 转换	(326)
17.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(327)
17.1.3 集成 DAC 举例	(328)
17.2 A/D 转换电路	(330)
17.2.1 逐次逼近型 A/D 转换器	(330)
17.2.2 集成 ADC 举例	(331)
本章小结	(332)
习题	(333)

第 18 章 实验及实训项目

18.1 电路基本定律及定理的验证	(335)
18.1.1 基尔霍夫定律 叠加 原理	(335)
18.1.2 戴维南定律	(337)
18.2 单相交流电路及功率 测量、功率因数的提高	(338)
18.2.1 单相交流电路及功率测量	(338)
18.2.2 功率因数的提高	(340)
18.3 三相交流电路及功率 测量	(341)

18.4 三相鼠笼式异步电动机 拆装	(342)
18.5 三相鼠笼式异步电动机 正转、正、反转控制	(345)
18.6* 三相鼠笼式异步电动机 Y— Δ 降压启动控制	(347)
18.7 常用电子器件的测量	(349)
18.8 单管电压放大电路 ...	(353)
18.9 负反馈放大电路	(354)
18.10 桥式整流、滤波与三端 稳压电路	(356)
18.11 逻辑门电路及其应用	(358)
18.12 计数—译码—显示电路	(360)

附录 A 国产半导体器件型号的命名 方法	(364)
-------------------------------	-------

附录 B 国产部分半导体器件参数	(365)
---------------------------	-------

附录 C 国产半导体集成电路命名法	(367)
----------------------------	-------

部分习题答案	(368)
--------------	-------

参考文献	(374)
------------	-------

第1章 直流电路

本章学习要点

本章主要介绍了电路的基本概念、参考方向、一些理想电路元件的电压电流关系(元件的VCR)和描述电路互联规律的基尔霍夫定律(KCL、KVL)。此外,还重点介绍了应用支路电流法、电源等效变换及叠加定理和戴维南定理等方法分析直流电路。

1.1 电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路,它是根据不同需要由某些电工设备或元件按一定方式组合而成的。电路的主要作用是:(1)电能的传输、分配和转换;(2)信号的传递和处理。如电炉在电流通过时将电能转换成热能,电视机可将接收到的信号经过处理,转换成图像和声音。

1.1.2 电路模型

如图1.1所示为一简单的实际电路及其模型,它由电源(供电设备)、负载(用电设备)、连接导线(传输设备)和开关(控制设备)等组成。

由于实际电路元件的特性往往比较复杂,因而为了方便分析和计算,通常采用模型化的方法来表征实际的电路元件。模型化就是突出实际电路元件的主要电磁特性,忽略其次要因素,用理想的模型(也可以说使元件特性单一化)近似地反映实际元件的特性。图1.1(b)即为图1.1(a)的电路模型。

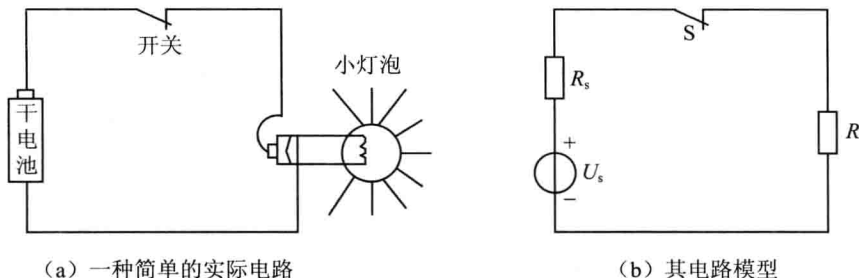
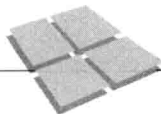


图 1.1 电路的组成



1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

在电场力的作用下,电荷有规则地定向移动,形成了电流。规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。在数值上,电流等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

小写字母 u 、 i 表示电压、电流随时间变化。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流,简称直流,常用大写字母 I 表示。于是式(1.1)可写为

$$I = \frac{Q}{t}$$

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])。

1.2.2 电压

电压是衡量电场力做功的物理量。单位正电荷在电场力的作用下,从电场中的一点 a 移到另一点 b 电场力所做的功称为点 a 、点 b 间的电压,用 u_{ab} (U_{ab}) 表示。习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向,可用“+”、“-”表示,也可用字母的双下标表示,或用箭头表示,如图 1.2 所示。

设正电荷 dq 从 a 点移至 b 点电场力所做的功为 dW , 则 a 、 b 间的电压为

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1.2)$$

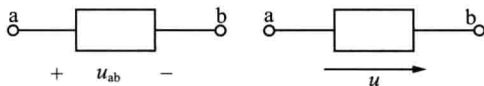


图 1.2 电压方向的表示法

当 $u_{ab} > 0$, 则表示正电荷从 a 点移至 b 点通过这段电路时是电场力做功。即这段电路是吸收电能。电压的单位为 V(伏[特]), 在国际单位制中, 当电场力把 1 C 的正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 J(焦耳), 则这两点间的电压为 1 V。

有时把电路中任一点与参考点(规定电位能为零的点)之间的电压, 也称为该点的电位。参考点的电位为零可用符号“ $\perp$ ”表示。电位的单位与电压相同, 用 V(伏[特])表示。

电路中两点间的电压也可用两点间的电位差来表示, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1.3)$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 是电压下降的方向。

电路中两点间的电压是不变的, 电位随参考点(零电位点)选择的不同而不同。在研究同一电路系统时, 只能选取一个电位参考点。

1.2.3 电动势

电动势是度量电源内非电场力(化学力、电磁力等)做功能力的物理量。非电场力把单位正电荷由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功,称为电动势,用字母 $e(E)$ 表示。其实际方向为使电位能升高的方向,即由低电位指向高电位,因此电动势和电压的实际方向相反,如图 1.3(a)所示。单位与电压相同,用 V (伏[特])表示。

设在电源内部非电场力,把正电荷 dq 从低电位端移至高电位端所做的功为 dW ,则电源的电动势为

$$e(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

在图 1.3(b)中,在开路情况下,电动势与两端电压大小相等方向相反。

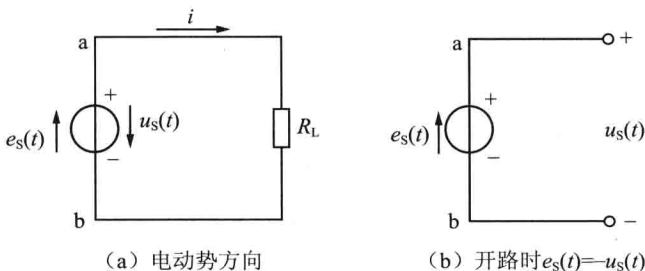


图 1.3 电动势

1.3 电流、电压参考方向

在复杂电路中,电流或电压的实际方向往往难以判断,为了分析问题方便起见,这时常引入参考方向的概念,即可以任意假定一个方向作为参考方向,当参考方向与实际方向一致时取正,相反时取负。

1.3.1 电流的参考方向

图 1.4(a)中电流的参考方向与实际方向一致, $i > 0$ 。图 1.4(b)中电流的参考方向与实际方向相反, $i < 0$ 。

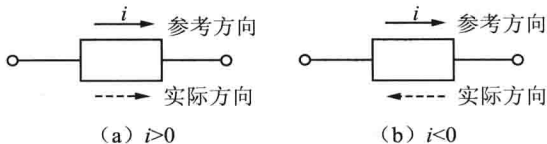
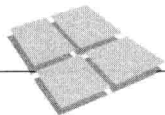


图 1.4 电流的参考方向

1.3.2 电压的参考方向

在图 1.5(a)中,电压参考方向与实际方向一致取正, $u > 0$ 。在图 1.5(b)中,电压参考方向与实际方向相反取负, $u < 0$ 。

可见电流、电压都是代数量。当电流的方向与电压方向选取一致时,称为关联参



考方向，如图 1.6 所示。

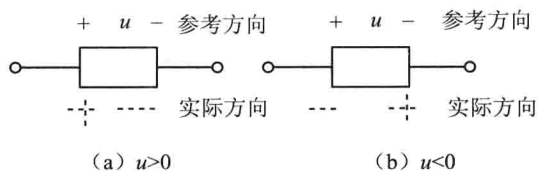


图 1.5 电流的参考方向

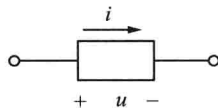


图 1.6 电流和电压的关联参考方向

在分析计算电路时，必须首先标出电流、电压的参考方向。参考方向一经选定，在解题过程中不能更改，并以此为标准去分析计算，最后从答案的正负值来确定电流的实际方向。本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

1.4 功率

电能量对时间的变化率，称为功率，也就是电场力在单位时间内所做的功。设电场力在 dt 时间内所做功为 dW ，则功率表示为

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.5)$$

在图 1.7 中，电阻两端的电压是 u ，流过的电流是 i ，电压与电流是关联参考方向，则电阻吸收的功率为

$$p = ui$$

在国际单位制中，功率的单位是 W(瓦[特])。而度是电能单位，平时所说消耗 1 度电就是：功率为 1 kW 的用电设备在 1 h 内消耗的电能，即 1 kWh，即

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)}$$

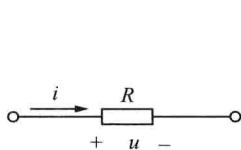


图 1.7 功率

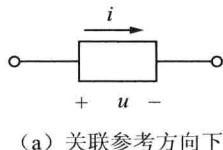
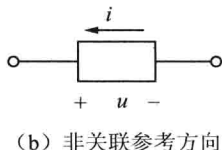


图 1.8 吸收、发出功率



元件两端电压和流过的电流在关联参考方向下时，如图 1.8(a)所示，若 $p = ui > 0$ ，则元件吸收功率；若 $p = ui < 0$ ，则元件发出功率。如果元件两端的电压和流过的电流在非关联参考方向下时，如图 1.8(b)所示，若 $p = ui > 0$ ，则元件发出功率；若 $p = ui < 0$ ，则元件吸收功率。

对任何一个电路元件，当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致时，元件吸收功率；电流与电压实际方向相反时，元件发出功率。

【例 1.1】 图 1.9 所示为直流电路， $U_1 = 4 \text{ V}$ ， $U_2 = -8 \text{ V}$ ， $U_3 = 6 \text{ V}$ ， $I = 4 \text{ A}$ ，求各元件吸收或发出的功率

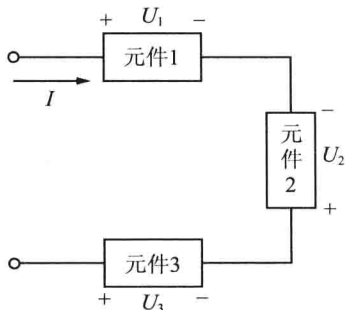


图 1.9 例 1.1 图

P_1 、 P_2 和 P_3 ，并求整个电路的功率 P 。

解：元件1的电压参考方向与电流参考方向相关联，且

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16 \text{ (W)} > 0 \quad (\text{吸收 } 16 \text{ W})$$

元件2和元件3的电压参考方向与电流参考方向非关联，且

$$P_2 = U_2 I = (-8) \times 4 = -32 \text{ (W)} < 0 \quad (\text{吸收 } 32 \text{ W})$$

$$P_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24 \text{ (W)} > 0 \quad (\text{发出 } 24 \text{ W})$$

整个电路的功率 P (设吸收功率为正，发出功率为负)为

$$P = 16 + 32 - 24 = 24 \text{ (W)}$$

1.5 电阻元件、电感元件和电容元件

1.5.1 电阻元件

电阻元件一般是反映实际电路中的耗能元件，如电炉、照明器具等。图形符号如图1.10所示，用字母 R 表示，其单位是 Ω (欧[姆])。当电阻两端的电压与流过电阻的电流是关联参考方向时，根据欧姆定律电压与电流成正比，有如下关系

$$u = iR \quad (1.6)$$

各元件的电压电流关系也称为元件的VCR。在关联参考方向下，当 $R = \frac{u}{i}$ 是个常数，则 R 称为线性电阻。线性电阻的伏安特性如图1.11所示，是过原点的直线。

任何瞬时线性电阻元件吸收的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \geq 0$$

电阻总是消耗能量的。其中 $G = \frac{1}{R}$ 。 G 称为电导，其单位是S(西[门子])。在国际单位制中，当电阻两端的电压为1V，流过电阻的电流为1A时，电阻为1 Ω 。

当电阻两端的电压与流过电阻的电流不成正比关系时，伏安特性是曲线，如图1.12所示，电阻不是一个常数，随电压电流变动，称为非线性电阻。分析含有非线性元件的非线性电路，一般要用图解法。

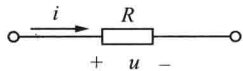


图 1.10 电阻元件符号

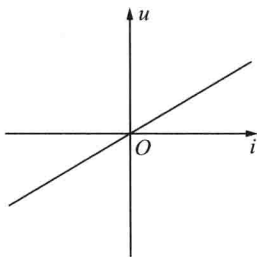


图 1.11 线性电阻的伏安特性

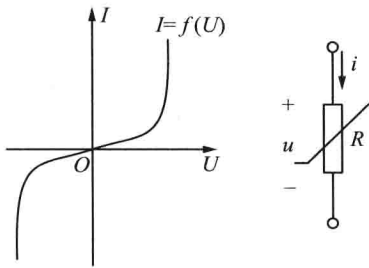
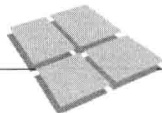


图 1.12 非线性电阻伏安特性及符号

1.5.2 电感元件

电感元件是一种储存磁场能的元件，电感元件的原始模型为导线绕制而成的实际



线圈,如图 1.13(a)所示,电感元件符号如图 1.13(b)所示。接通电源后,线圈四周就建立了磁场,储存了磁场能量。假定绕制线圈的导线无电阻,线圈有 N 匝,当线圈通过电流 i 时,在线圈内部将产生磁通 Φ_L ,若磁通 Φ_L 与线圈 N 匝都交链,则磁通链 $\Psi_L = N\Phi_L$ 。 Φ_L 和 Ψ_L 都是线圈本身电流产生的,称为自感磁通和自感磁通链。

当磁通 Φ_L 和磁通链 Ψ_L 的参考方向与电流 i 参考方向之间满足右手螺旋定则时,有式

$$\Psi_L = Li \quad (1.7)$$

其中 L 称为线圈的自感或电感。在国际单位制中,磁通和磁通链的单位是 Wb(韦[伯]),自感的单位是 H(亨[利])。当线圈中没有铁磁物质时, L 是常数,称为线性电感,其韦安特性如图 1.13(c)所示。

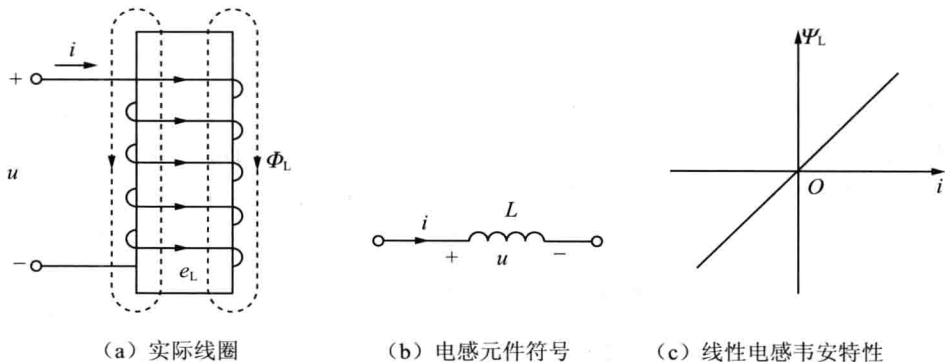


图 1.13 电感元件及其韦安特性

当电感元件两端电压和通过电感元件的电流在关联参考方向下,根据楞次定律,有

$$u = \frac{d\Psi_L}{dt}$$

把 $\Psi_L = Li$ 代入上式,得

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1.8)$$

由式(1.8)可以看出,任何时刻,线性电感元件的电压与该时刻电流的变化率成正比。当电流不随时间变化时(直流电流),则电感电压为零,这时电感元件相当于短接。这说明电感元件具有通直流阻交流的特性。

电感元件两端电压和通过电感元件的电流在关联参考方向下,从 0 到 τ 的时间内电感元件所吸收的电能为

$$W_L = \int_0^\tau p dt = \int_0^\tau ui dt = \int_0^\tau Li \frac{di}{dt} dt = L \int_{i(0)}^{i(\tau)} i di = \frac{1}{2} Li^2(\tau) \quad (1.9)$$

其中假定 $i(0)=0$,可看出: L 一定时,磁场能量 W_L 随着电流的增加而增加。

1.5.3 电容元件

电容元件是一种表征电路元件储存电荷特性的理想元件,其原始模型为两块金属板之间用绝缘介质隔开的平板电容器。若在其两端加上电压,两个极板间就会建立电

场, 储存电场能量。电容元件符号如图 1.14(a) 所示。电容器极板上所储积的电量 q 与其两端电压 u 有以下关系

$$\begin{aligned} q &= Cu \\ C &= \frac{q}{u} \end{aligned} \quad (1.10)$$

C 称为该元件的电容, 当 C 是常数时, 电容为线性电容, 其伏库特性如图 1.14(b) 所示。在国际单位制中, 电容的单位用 F (法[拉]) 表示。当在电容两端的电压是 1 V, 极板上若储积了 1 C 的电荷(量), 则该电容器的电容就是 1 F。由于法(拉)单位太大, 工程上多采用 μF (微法) 或 pF (皮法)。

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

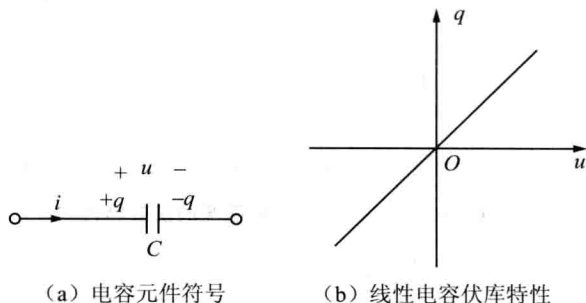


图 1.14 电容元件及其伏库特性

当电容两端的电压 u 与流进正极板电流 i 参考方向一致时, 为关联参考方向, 有

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.11)$$

把式 $q = Cu$ 代入式(1.11)得

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.12)$$

式(1.12)说明, 电容元件的伏安关系为微分关系, 当电容一定时, 通过电容元件的电流与该时刻电压的变化率成正比。如果加上直流电压, 则 $i=0$, 电容相当于开路。这就是电容的一个明显特征: 通高频, 阻低频; 通交流, 阻直流。

电容元件两端电压与通过的电流在关联参考方向下, 从 0 到 τ 的时间内, 元件所吸收的电能为

$$W_C = \int_0^\tau p dt = \int_0^\tau ui dt = \int_0^\tau Cu \frac{du}{dt} dt = C \int_{u(0)}^{u(\tau)} u du = \frac{1}{2} Cu^2(\tau) \quad (1.13)$$

其中假定 $u(0)=0$, 可看出: 当 C 一定时, 电场能量 W_C 随电压的增加而增加。

1.6 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独立电源。独立电源一般分为电压源和电流源。