



普通高等教育“十五”国家级规划教材

电工电子学

上

刘润华 主编

石油大学出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

电工电子学

上册

刘~~国~~华 主 编

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学(上、下册)/刘润华主编. —东营:石油
大学出版社, 2002. 10
ISBN 7-5636-1668-3

I. 电… II. 刘… III. ①电工学-高等学校-教
材②电子学-高等学校-教材 IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 069321 号

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

电 工 电 子 学

(上、下册)

刘润华 主编

责任编辑:宋秀勇(电话 0546—8396155)

封面设计:孟卫东

出 版 者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpress>

电子信箱:yibian@mail.hdpu.edu.cn

印 刷 者:山东省东营市新华印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本:787×960 1/16 印张:39.625 印数:766 千字

版 次:2003 年 4 月第 1 版第 2 次印刷

定 价:48.80 元(上册 23.00 元,下册 25.80 元)

序

改革课程体系和教学内容,建设一批富有创新特色的系列课程和教材是教学改革主体,也是教学改革的难点。本书正是编者承担教育部21世纪初高等教育教学改革项目“非电类理工专业电工电子课程模块教学改革的研究与实践”的研究成果。

采用模块化教学体系是当前我国电工学界广泛关注的问题。自1996年起,在我国,很多高等学校电工学教研室就在研究和蕴酿,但真正付诸实行和最早拿出成果的则要首推石油大学(华东)这本《电工电子学》(上、下册)了。本书的出版,对进一步促进我国电工学的教学改革,提高本科电工学的教学质量是很有意义的。

这套《电工电子学》(上、下册)分为基础部分和应用部分两大模块。其中基础部分是必修模块;应用部分又分八个小模块供不同专业选用。无论是基础部分还是应用部分,教材注意并较好地处理了更新内容与经典内容的关系;基本理论与实践应用的关系;传授知识与培养能力和创新意识的关系。

希望本教材通过教学实践不断提高和完善。

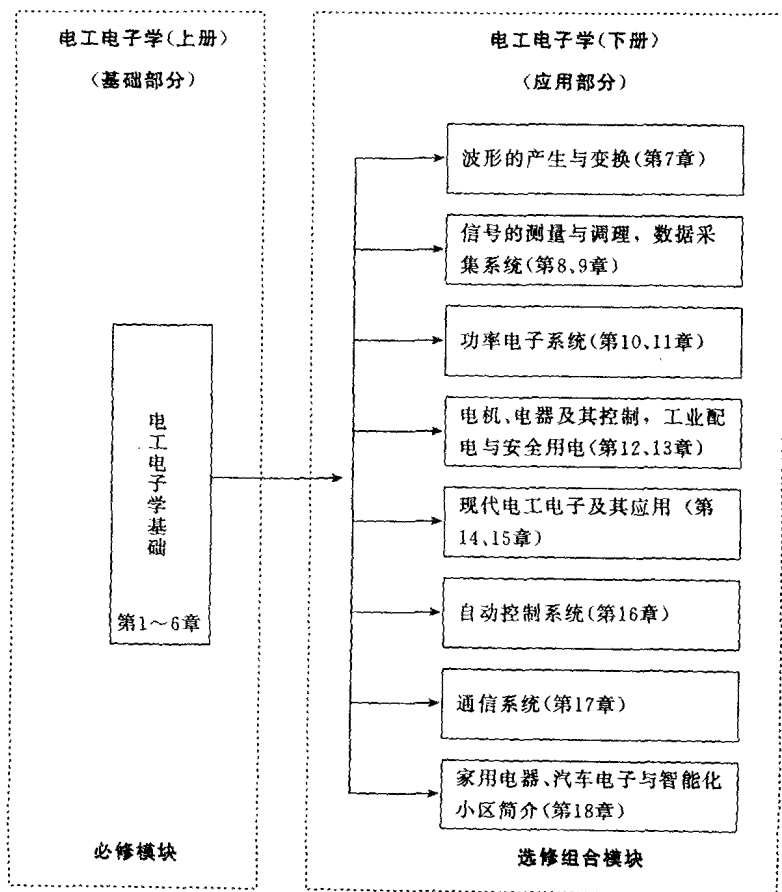
唐介

2002年8月

前言

石油大学(华东)电工电子学教研室承担了教育部 21 世纪初高等教育教学改革项目“非电类理工专业电工电子课程模块教学改革的研究与实践”。该项目的主题是模块化教学,针对当前电工电子学课程“学时越来越少,内容越来越多”这一矛盾和“有用的内容有些没有学,学的内容有些没有用”这一现实问题,通过广泛、深入调研和实践,结合我们多年教学改革的经验 and 体会,确定了一个全新的模块化课程体系。按照这一新体系,我们组织编写了这套《电工电子学》(上、下册)教材。

《电工电子学》(上、下册)教材模块化体系设置如下图所示:



全书共分基础部分和应用部分两大模块。基础部分为电工电子学基础,介绍了电工电子技术的基本理论、基本分析和设计方法,是各专业必修的模块。应用部分包括波形的产生与变换;信号的测量与调理,数据采集系统;功率电子系统;电机、电器及其控制,工业配电与安全用电;现代电工电子及其应用;自动控制系统;通信系统;家用电器、汽车电子与智能化小区简介八个模块。各非电专业可选择适合自己的应用模块。

针对目前电工学课程存在的问题和 21 世纪对非电工程师的要求,在编写本教材时我们注意到以下几点:

1. 采用模块化结构体系。根据不同的专业、不同的要求和不同的课程学时,选择不同的模块进行组合,这样可解决“学时少与内容多的矛盾”。

2. 理论联系实际,内容落实到“应用”上。本教材通过几个典型应用模块,将电工电子技术应用到工业生产和日常生活中,解决了“学的内容有些没有用,有用的内容有些没有学”这一现实问题。有利于激发学生学习该课程的兴趣和积极性,并能解决工业生产中的一些实际问题。

3. 对于基础内容,本着少而精原则,力求概念准确、清楚,阐述简明扼要,定理推导从简,突出方法应用。

4. 删简了细节问题的定量分析计算,加强了外部特性的宏观分析。如删简了电子器件的内部结构、机理分析,分立元件电路的定量分析计算,电机的内部参数计算等内容,而重点分析了器件、电路和系统的外部特性。

5. 注重系统概念。在应用部分中,每个模块为一个应用系统,系统的外部特性一般不会随着技术的发展而过时,恰恰相反的是,应用系统中的局部电路或器件则会随着时间的推移而被淘汰。因此,重视系统的构成及应用,将会使学生终生受益,对今后的再学习或可持续发展有非常重要的作用。

6. 增加了 PLC、EDA 等先进内容,以便让学生了解电工电子学的最新发展和应用。

7. 增加了自动控制系统、通信、家用电器、汽车电子和智能化小区简介等内容,以扩大学生的视野。

8. 在写作方式上,除了常规的简明易懂,好教好学外,还引入了启发式,有些问题不需要详细阐述的,引导学生深入思考去分析或设计该问题,这样可以培养学生的自学能力,学会自我索取知识的本领。

本书由刘润华教授主编,负责全书的策划、组织、统稿和定稿,并编写了第 4、5、15 章。石油大学(华东)参加编写的有郝宁眉(第 1、14 章),单亦先(第 2 章),陈国初(第 3、16 章),吴贞煊(第 6 章),郭曙光(第 7 章),刘广孚(第 8、9 章),王心刚(第 12、13 章),任旭虎(第 17 章),刘复玉(第 18 章),山东理工大学

参加编写的有董传岱(第10章),魏佩瑜(第11章)。

本书由大连理工大学唐介教授主审。唐教授对书稿进行了详细的审阅,并提出了许多指导性的意见和建议;在编写过程中,石油大学(华东)信控学院的许多老师提出了一些宝贵的意见和建议。在此,一并向他们表示真诚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,敬请读者,特别是使用本书的老师和同学,提出批评和改进意见。

编 者

2002年9月

目 录

第 1 章 电路的基本概念、定律与分析方法	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.2 电流、电压及其参考方向	(2)
1.1.3 电路中的功率	(3)
1.2 电路的基本元件	(5)
1.2.1 电阻元件	(5)
1.2.2 电容元件	(7)
1.2.3 电感元件	(8)
1.2.4 电源元件	(9)
1.3 基尔霍夫定律	(12)
1.3.1 基尔霍夫电流定律 KCL	(12)
1.3.2 基尔霍夫电压定律 KVL	(13)
1.4 电路的分析方法	(16)
1.4.1 电路的等效化简	(16)
1.4.2 支路电流分析法	(23)
1.4.3 结点电压分析法	(25)
1.4.4 叠加原理	(27)
1.4.5 戴维宁定理与诺顿定理	(30)
1.4.6 电路中电位的计算	(33)
习 题	(37)
第 2 章 正弦交流电路	(45)
2.1 正弦交流电的基本概念	(45)
2.1.1 正弦量	(45)
2.1.2 正弦量的相量表示法	(48)
2.2 单一参数的正弦交流电路	(51)
2.2.1 电阻元件的正弦交流电路	(52)
2.2.2 电感元件的正弦交流电路	(53)
2.2.3 电容元件的正弦交流电路	(55)
2.3 R 、 L 、 C 串联的正弦交流电路	(58)
2.3.1 电压与电流	(59)
2.3.2 功率	(60)

2.4 正弦交流电路的分析	(63)
2.4.1 阻抗的串联	(63)
2.4.2 阻抗的并联	(65)
2.4.3 一般正弦交流电路的分析和计算	(66)
2.5 功率因数的提高	(70)
2.6 电路的谐振	(72)
2.6.1 串联谐振	(72)
2.6.2 并联谐振	(75)
2.7 三相正弦交流电路	(77)
2.7.1 三相电源	(77)
2.7.2 负载星形连接的三相电路	(79)
2.7.3 负载三角形连接的三相电路	(82)
2.7.4 三相电路的功率	(83)
习 题	(86)
第3章 电路的暂态分析	(93)
3.1 换路定则与电压和电流初始值的确定	(93)
3.1.1 换路定则	(94)
3.1.2 电压和电流初始值的确定	(94)
3.2 RC 电路的响应	(95)
3.2.1 RC 电路的全响应	(96)
3.2.2 RC 电路的零输入响应	(97)
3.2.3 RC 电路的零状态响应	(98)
3.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(99)
3.4 RL 电路的响应	(103)
3.4.1 RL 电路的零输入响应	(103)
3.4.2 RL 电路的零状态响应	(104)
3.4.3 RL 电路的全响应	(104)
习 题	(106)
第4章 半导体分立器件及其基本电路	(110)
4.1 半导体的基本知识与 PN 结	(110)
4.1.1 半导体的基本知识	(110)
4.1.2 PN 结及其单向导电特性	(111)
4.2 半导体二极管及其应用电路	(113)
4.2.1 半导体二极管	(113)
4.2.2 二极管应用电路	(115)
4.2.3 特殊二极管	(115)

4.3 放大电路的基本概念及其性能指标	(118)
4.3.1 放大电路的基本概念	(118)
4.3.2 放大电路的性能指标	(119)
4.4 三极管及其放大电路	(122)
4.4.1 三极管	(122)
4.4.2 共发射极放大电路	(128)
4.4.3 射极输出器	(137)
4.5 场效应管及其放大电路	(138)
4.5.1 绝缘栅型场效应管	(139)
4.5.2 共源极放大器	(143)
4.5.3 源极输出器	(146)
4.6 多级放大电路	(146)
习 题	(149)
第5章 模拟集成电路及应用	(154)
5.1 集成运算放大器	(154)
5.1.1 集成运算放大器的组成	(154)
5.1.2 集成运算放大器的符号和参数	(157)
5.1.3 集成运算放大器的电压传输特性、理想模型和分析依据	(159)
5.2 放大电路中的负反馈	(161)
5.2.1 反馈的基本概念	(161)
5.2.2 反馈放大电路的分类及判别	(162)
5.2.3 负反馈放大电路的四种组态	(164)
5.2.4 负反馈对放大电路性能的影响	(167)
5.3 集成运算放大器的线性应用	(170)
5.3.1 比例运算电路	(170)
5.3.2 加法运算电路	(172)
5.3.3 减法运算电路	(173)
5.3.4 积分运算电路	(175)
5.3.5 微分运算电路	(177)
5.4 集成运算放大器的非线性应用	(178)
5.4.1 单门限电压比较器	(178)
5.4.2 迟滞比较器	(180)
5.5 模拟集成乘法器及其应用	(182)
5.5.1 除法运算电路	(182)
5.5.2 平方根运算电路	(183)
5.6 模拟集成功率放大器及其应用	(184)

5.6.1 功率放大器的分类·····	(184)
5.6.2 互补对称功率放大电路·····	(184)
5.6.3 集成功率放大器·····	(185)
习 题 ·····	(187)
第6章 数字集成电路及其应用 ·····	(193)
6.1 数字电路基础 ·····	(193)
6.1.1 概述·····	(193)
6.1.2 基本逻辑运算和逻辑门·····	(194)
6.1.3 逻辑代数基本运算规则和基本定律·····	(198)
6.1.4 逻辑函数的代数法化简及其变换·····	(199)
6.2 集成逻辑门 ·····	(201)
6.2.1 TTL 与非门电路 ·····	(202)
6.2.2 CMOS 门电路 ·····	(204)
6.2.3 三态门·····	(206)
6.2.4 使用集成门注意事项·····	(208)
6.3 组合逻辑电路 ·····	(208)
6.3.1 组合逻辑电路的分析·····	(209)
6.3.2 组合逻辑电路的设计·····	(210)
6.3.3 常用中规模组合逻辑电路及其应用·····	(214)
6.4 集成触发器 ·····	(223)
6.4.1 R - S 触发器·····	(223)
6.4.2 J - K 触发器·····	(226)
6.4.3 D 触发器·····	(228)
6.4.4 触发器应用举例·····	(230)
6.5 时序逻辑电路 ·····	(232)
6.5.1 寄存器·····	(232)
6.5.2 计数器·····	(235)
6.6 半导体存储器 ·····	(246)
6.6.1 只读存储器·····	(247)
6.6.2 随机存储器·····	(249)
6.7 综合应用举例 ·····	(251)
6.7.1 数字钟·····	(251)
6.7.2 动态扫描键盘编码器·····	(252)
习 题 ·····	(254)
附 录 ·····	(261)
部分习题参考答案·····	(264)

第1章 电路的基本概念、定律与分析方法

本章主要介绍有关电路的基本概念与分析方法,包括电路模型的概念、理想元件的伏安特性、基尔霍夫定律、等效电路的概念、支路电流分析法、结点电压分析法、叠加定理以及戴维宁定理与诺顿定理。这些基本定律与分析方法不仅适用于直流电路,也适用于交流电路的分析。因此,本章是学习电类课程的重要基础。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路与电路模型

电路是由电工、电子器件根据功能需要,按照某种特定方式连接而成的。例如,将蓄电池和灯泡经过开关用导线连接起来,就可构成一个汽车照明电路。如图1.1.1(a)所示。蓄电池在电路中为灯泡提供电能,称为**电源**,灯泡将电能转换为其他形式的能量,称为**负载**。

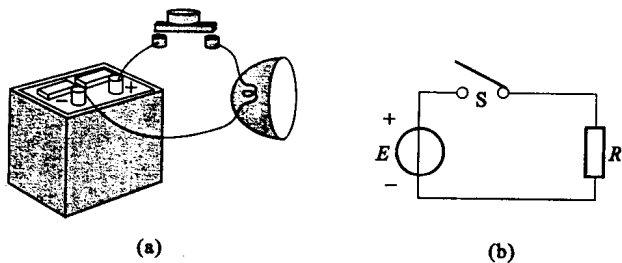


图 1.1.1 汽车照明电路

(a) 实际电路; (b) 电路模型

构成电路的常用元器件有电阻器、二极管、晶体管、电容、电感、变压器、电动机、电池等等。这些实际元器件的电磁特性往往十分复杂,例如,一个白炽灯的主要电磁特性为电阻特性(即消耗电能),但当电流流过时还会产生磁场,又表现出电感特性。因此,为了分析复杂电路的工作特性,就必须进行科学抽象与概括,用一些模型元件(或相应组合)来代表实际元器件的主要外部特性。这种模型元件是一种用数学关系描述实际器件的基本物理规律的数学模型,我们称之为**理想元件**,简称**元件**。

电路理论分析、研究的对象是由理想元件构成的电路模型,简称电路。电路图则是用规定的元件图形反映电路的结构。例如,汽车照明电路的模型可由图 1.1.1(b)所示的电路图表示。

1.1.2 电流、电压及其参考方向

在电路理论中为了定量地描述电路的状态和元件特性,一般选用电流(i)和电压(u)作为电路变量。

1. 电流

电流是指电荷在电场作用下的定向运动,其大小称为**电流强度**,简称**电流**,用 $i(t)$ 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为**电流的真实方向**。

在分析电路时往往很难事先确知电流的真实方向。为了分析计算的需要,常在电路元件上假定一个电流的方向作为**电流的正方向**或**参考方向**,

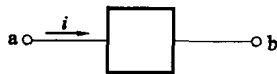


图 1.1.2 电流正方向的标定

如图 1.1.2 所示的箭头。正方向的选择具有任意性,并不代表电路中的实际物理过程。但是,在选定正方向的情况下,电流成为代数量,若 $i > 0$,就意味着电流的真实方向与正方向一致;若 $i < 0$,则意味着电流的真实方向与正方向相反。

电流通常是时间的函数,即 $i = i(t)$ 。图 1.1.3 给出了几种电流的典型波形。一般用 i 表示随时间变化的电流,用 I 表示不随时间变化的**恒定电流**。其他物理量,如电压、电荷量、功率等也是如此。

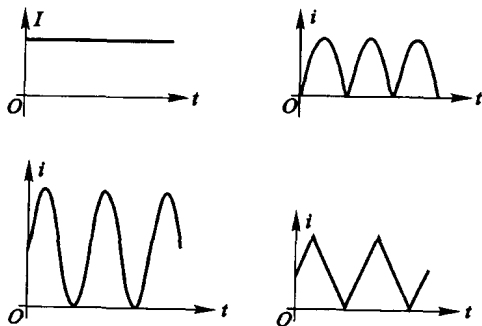


图 1.1.3 几种典型电流的波形

2. 电压

1.1.3

a、b 两点间的电压是指电场力把单位正电荷由 a 点移到 b 点时所做的功,

即

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} = v_a - v_b \quad (1.1.2)$$

式中, v_a 、 v_b 分别表示 a、b 点的电位, u_{ab} 则表示 a、b 点间的电位之差。电压总是与电路中两点相联系的。

电压的真实方向规定为从高电位指向低电位。在电路分析中, 与选定电流正方向类似, 常标以“+”、“-”表示电压的正、负极性或参考方向。在图 1.1.4 中, a 点标以“+”, 极性为正, 称为高电位; b 点标以“-”, 极性为负, 称为低电位。也有的用箭头表示电压参考方向, 箭头的方向为高电位端指向低电位端。这种选定也具有任意性, 并不能确定真实的物理过程。一旦选定了电压正方向后, 若 $u > 0$, 则表明电压的真实极性与选定的正方向一致, 反之则相反。

电路中电流的正方向和电压的正方向在选定时都具有任意性, 二者彼此独立。但是, 为了分析电路方便, 常把元件上的电流与电压的正方向取为一致, 称为关联参考方向。如图 1.1.5 所示, 电流从元件标以“+”的端点流入, 从“-”端流出。我们约定, 除电源元件外, 所有元件上的电流和电压都采用关联参考方向。

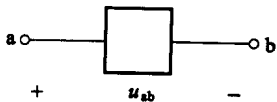


图 1.1.4 电压的正方向

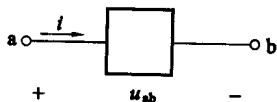


图 1.1.5 关联的电流、电压参考方向

1.1.3 电路中的功率

从某种意义上说, 电路的基本作用就是实现能量的传递。因此, 功率的概念在电路分析中十分重要。

在图 1.1.6(a) 中, 元件的电流和电压取关联参考方向, 则该元件吸收的功率为

$$p = u \cdot i \quad (1.1.3)$$

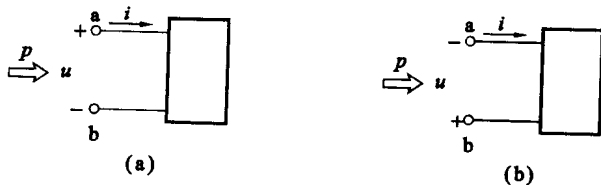


图 1.1.6 元件吸收的功率

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

当电压单位为伏特(V), 电流单位为安培(A)时, 功率的单位为瓦特(W)。

按式(1.1.3)计算的结果, 若 $p > 0$, 意味着元件吸收或消耗功率; 若 $p < 0$, 则意味着元件提供或产生功率。如果元件的电流和电压取非关联参考方向, 如图 1.1.6(b)所示, 该元件吸收的功率为

$$p = -u \cdot i \quad (1.1.4)$$

例 1.1.1 如图 1.1.7 所示, 各元件的电流、电压的正方向和数值已标在图中。试计算各元件的功率, 并说明是吸收还是提供功率。

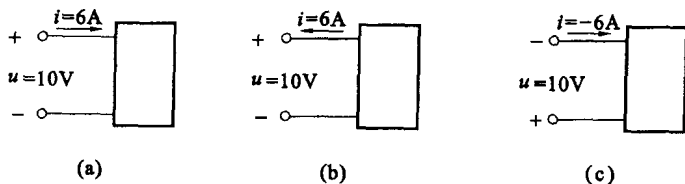


图 1.1.7 例 1.1.1 的图

解 在图(a)中, u 与 i 为关联参考方向,

$$p = u \cdot i = 10 \times 6 = 60 \text{ (W)}$$

元件吸收功率。

在图(b)中, u 与 i 为非关联参考方向,

$$p = -u \cdot i = -10 \times 6 = -60 \text{ (W)}$$

元件提供功率。

在图(c)中, u 与 i 为非关联参考方向,

$$p = -u \cdot i = -10 \times (-6) = 60 \text{ (W)}$$

元件吸收功率。

各种电气设备的电压、电流及功率都有一个额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的条件下正常运行而规定的正常允许值。高于额定值运行, 影响设备的寿命, 甚至出现事故; 低于额定值运行, 不仅得不到正常合理的工作状况, 而且也不能充分利用设备的能力。因此, 应尽量使电气设备工作在额定状态。额定值通常标在电气设备或元件的铭牌或写在产品说明书中, 使用时应充分考虑额定数据。例如, 一盏 220 V、40 W 的电灯, 它的额定电压是 220 V, 额定功率是 40 W。

【练习与思考】

1.1.1 在图 1.1.8(a)所示电路中, $U_{ab} = -5 \text{ V}$, 试问 a、b 两点哪点电位高? 在图 1.1.8(b)所示电路中, $U_1 = -6 \text{ V}$, $U_2 = 4 \text{ V}$, 试问 U_{ab} 等于多少伏。

1.1.2 在图 1.1.9 中, 哪些元件吸收功率, 哪些元件提供功率, 并求出吸收与提供的功

率值。

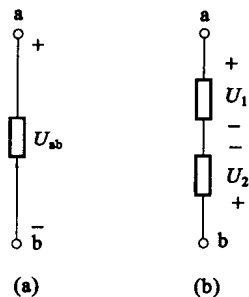


图 1.1.8 练习与思考 1.1.1 的图

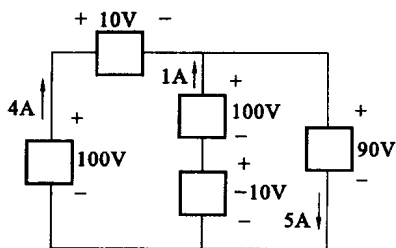


图 1.1.9 练习与思考 1.1.2 的图

1.2 电路的基本元件

理想元件是组成电路的基本单元。元件上电压与电流之间的关系又称为元件的**伏安特性**，它反映了元件的性质。电路元件按能量特性，可分为无源和有源元件；按与外部连接的端子数目，可分为二端、三端、四端元件等；按伏安特性，可分为线性元件与非线性元件。本节将讨论电阻、电感、电容和电源等二端元件的概念以及它们的伏安特性。

1.2.1 电阻元件

电阻器、白炽灯、电炉等实际器件的主要特性是消耗电能，在一定条件下，可用电阻元件作为模型。理想电阻元件是一个由欧姆定理(Ohm's Law)描述其电压电流关系的线性二端元件。电阻元件的符号如图 1.2.1(a)所示。在端电压和电流取关联方向时，电压与电流之间呈线性关系，可表示为

$$u = Ri \quad (1.2.1)$$

式中， R 为电阻元件的参数，反映元件阻碍电流流过的能力，为实常数，单位为欧姆(Ω)。电阻元件的伏安特性还可以用 $u-i$ 平面的一条直线来表示，如图 1.2.1(b)。它是一条通过坐标原点的一条直线，其斜率为 R 。

电阻元件的伏安特性也可表示为

$$i = \frac{1}{R}u = Gu \quad (1.2.2)$$

式中， G 称为电阻元件的**电导**，反映元件阻碍电流通过的能力，单位为西门子(S)。

严格地讲，实际的电阻器件都是非线性的，但在许多应用领域，可以近似地

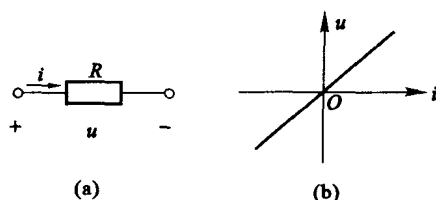


图 1.2.1 电阻元件的符号及伏安特性曲线

(a) 符号; (b) 伏安特性曲线

用线性电阻元件作为模型,如图 1.2.2 所示。

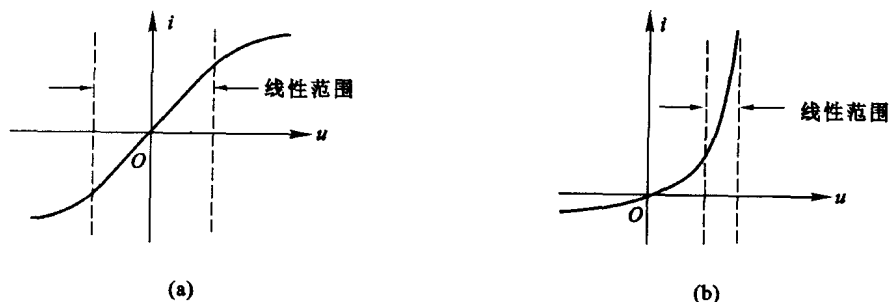


图 1.2.2 实际电阻的伏安特性曲线

(a) 白炽灯的伏安特性曲线; (b) 二极管的伏安特性曲线

在电路中常遇到电阻元件的两种特殊情况:(1)当一个电阻元件的端电压 u 不论为何值时,流过它的电流恒为零,则称“开路”,即 $R \rightarrow \infty$,如图 1.2.3(a)所示;(2)当一个电阻元件中的电流 i 不论为何值时,它的端电压 u 恒为零,则称“短路”,即 $R=0$,如图 1.2.3(b)所示。

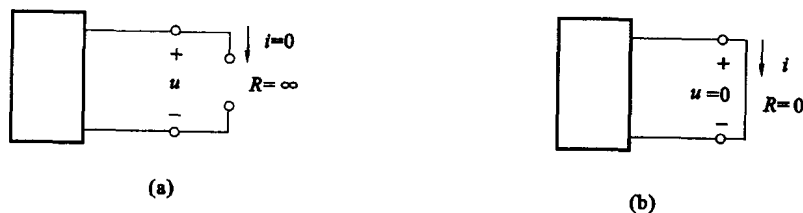


图 1.2.3 实际电阻的两种特殊情况

(a) 开路; (b) 短路

在电压和电流取关联方向时,电阻元件的功率为

$$p = u \cdot i = i^2 R \quad (1.2.3)$$

例 1.2.1 有一额定值为 $1/2 \text{ W}$ 、 $5\,000 \Omega$ 的电阻,其额定电流为多少? 在使用时电压不能超过多大数值?