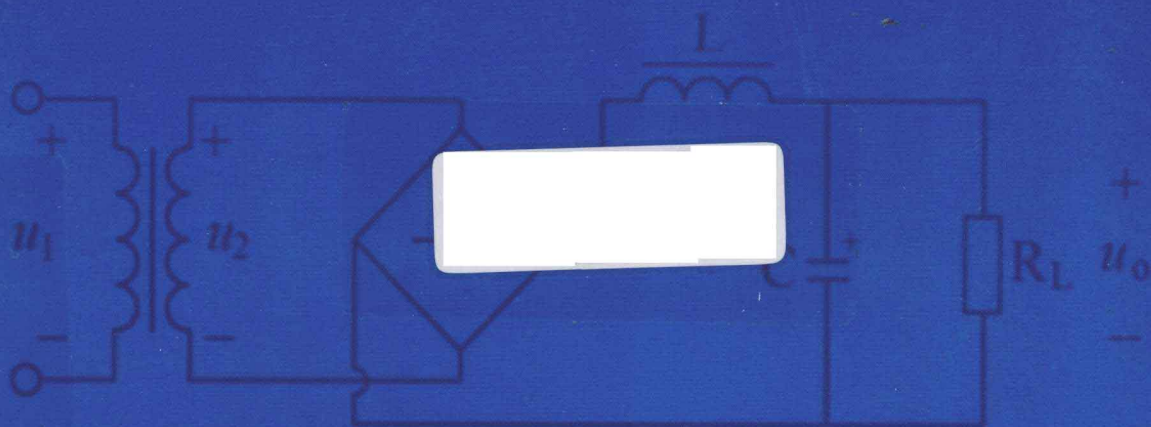


世纪出版 • 普通高等教育“十二五”规划教材

电工与电子技术教程

DIANGONG YU DIANZI JISHU
JIAOCHENG

忻尚芝 主编



上海科学技术出版社

世纪出版·普通高等教育“十二五”规划教材

电工与电子技术教程

忻尚芝 主编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术教程/忻尚芝主编. —上海: 上海科学技术出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5478 - 1395 - 9

I. ①电… II. ①忻… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 161840 号

内 容 提 要

电工与电子学课程是高等院校工科非电类本科专业一门非常重要的电类基础课程,本书是电工与电子学课程的授课教材。全书共分十二章,包括电路原理、电工基础、模拟电子技术和数字电子技术的知识内容,涵盖了电工和电子技术两大部分的所有主要章节。本书各章节后都有适当数量的习题,供课后练习以巩固所学的知识。

本书可作为普通高等院校工科非电类各专业本科的课程教材,以及其他同等程度电工与电子学课程的教学用书,也可作为从事相关工程技术人员的参考书。

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787 × 1092 1/16 印张: 19

字数: 400 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 1395 - 9/TM · 30

定价: 36.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

前言

电工与电子技术是高等院校工科非电类本科专业一门很重要的专业基础课程,《电工与电子技术教程》作为电工与电子技术课程的授课教材,是根据教育部颁布的电工技术和电子技术课程教学大纲的基本要求,结合学校进一步加强本科教学,提高本科教学质量和电工与电子学核心课程建设,在多年理论与实践教学经验积累的基础上编写而成。本教材在编写过程中,坚持从各种非电专业的实际需要出发,注重应用,力求叙述精炼,突出重点,深入浅出地把深奥的原理、定律阐述清楚,并把分析设计的方法解释清楚。

《电工与电子技术教程》全书共分十二章,内容包括电路原理、电工基础、模拟电子技术和数字电子技术四部分,涵盖了电工和电子技术所有主要的章节。书中每章均有习题可巩固所学的知识点,还有习题参考答案供检查解答是否准确,书后附有必要的附录供学习过程中查阅。

本书由上海理工大学电工电子教研室的教师编写。第一、二章由蒋玲编写,第三、四章由李玉凤编写,第五、六章由侯文和刘伞编写,第七、八章由夏耘编写,第九章由易映萍编写,第十、十一和十二章由忻尚芝编写。忻尚芝主编并负责全书的统稿。感谢电工电子教研室其他教师对本教材编写的支持,也感谢在编写过程中给予帮助的所有老师和同行。

《电工与电子技术教程》可作为高等院校工科非电类及相关专业本科学生的电工与电子技术课程教材,也可作为其他同等程度类似课程的教学用书,同时可供从事与电工和电子技术相关人员作为参考书。

由于编者的水平有限和时间比较仓促,书中不妥和错误之处,恳请使用本书的师生和读者批评指正并提出修改建议,以便重印和修订时改正,电子邮箱: xinsz@usst.edu.cn。

编者

目 录

电 工 部 分

第 1 章

电路分析的基本定律 / 3

- 1.1 电路和电路模型 / 3
- 1.2 电路中的电流、电压及功率 / 4
- 1.3 欧姆定律 / 7
- 1.4 理想电压源和理想电流源 / 9
- 1.5 基尔霍夫定律 / 10
- 习题 / 13

第 2 章

直流电路分析的基本方法 / 16

- 2.1 电阻串并联及分压分流公式 / 16
- 2.2 电阻三角形连接星形连接及其等效变换 / 18
- 2.3 实际电压源、电流源的等效变换 / 20
- 2.4 支路电流法 / 23
- 2.5 结点电压法 / 25
- 2.6 叠加定理 / 27
- 2.7 戴维宁定理和诺顿定理 / 30
- 习题 / 32

第 3 章

正弦交流电路的相量分析法 / 36

- 3.1 正弦交流电压电流的相量 / 36
- 3.2 电路基本定律的相量形式 / 43
- 3.3 RLC 串并联交流电路的分析 / 50
- 3.4 正弦交流电路的功率和功率因数 / 57

3.5 电路的谐振 / 64

习题 / 68

第 4 章**三相交流电路 / 73**

4.1 三相电源 / 73

4.2 三相电路的分析 / 76

4.3 三相电路的功率 / 83

习题 / 85

第 5 章**一阶电路的暂态过程分析 / 88**

5.1 换路定律与初始值的确定 / 88

5.2 RC 电路的零输入响应和零状态响应 / 91

5.3 RC 暂态电路的三要素分析法 / 94

5.4 RL 电路的暂态过程分析 / 97

习题 / 101

第 6 章**变压器、电动机和安全用电 / 103**

6.1 变压器 / 103

6.2 三相交流异步电动机 / 109

6.3 安全用电 / 121

习题 / 129

电 子 部 分

第 7 章**二极管及其应用电路 / 135**

7.1 P 型半导体和 N 型半导体 / 135

7.2 PN 结的形成和特性 / 137

7.3 半导体二极管及伏安特性曲线 / 139

7.4 二极管应用电路 / 141

习题 / 145

第 8 章**三极管及其放大电路 / 148**

8.1 三极管的形成及工作原理 / 148

8.2 三极管输入、输出回路及其伏安特性曲线 / 152

8.3 三极管放大电路 / 154

8.4 多级放大电路 / 174

习题 / 177

第 9 章 集成运算放大器及其应用 / 180

9.1 差分放大电路 / 180

9.2 互补对称功率放大电路 / 190

9.3 集成运算放大电路 / 196

9.4 理想集成运放的线性应用电路 / 200

9.5 理想集成运放的非线性应用电路 / 208

习题 / 212

第 10 章 直流稳压电源 / 218

10.1 整流电路 / 219

10.2 滤波电路 / 222

10.3 稳压电路 / 224

习题 / 226

第 11 章 逻辑门和组合逻辑电路 / 229

11.1 基本逻辑运算及其门电路 / 230

11.2 逻辑代数的基本定律和表示方法 / 232

11.3 逻辑函数的化简 / 235

11.4 组合逻辑电路的分析 / 241

11.5 两种常用组合逻辑电路介绍 / 243

11.6 组合逻辑电路的设计 / 245

习题 / 248

第 12 章 触发器和时序逻辑电路 / 253

12.1 触发器 / 253

12.2 时序逻辑电路的分析 / 260

12.3 时序逻辑电路的设计 / 264

习题 / 267

各章习题参考答案 / 273

附录 / 283

- 附录 A 国际单位制(SI)的词头 / 283
- 附录 B 元器件的型号与性能简介 / 284
- 附录 C 半导体分立器件型号命名方法 / 287
- 附录 D 美国标准信息交换码(ASC II) / 288
- 附录 E 常用逻辑符号对照表 / 289

参考文献 / 292

电 工 部 分

第 1 章 电路分析的基本定律

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的作用和基本组成

电路是电流流通的路径,由某些电气设备或电路器件(如电阻器、电容器、线圈、开关、晶体管、电源等)按一定的方式相互连接而成,是人们为完成某种预期的目的而设计、安装、运行的。

电路的作用主要有两类,一类是实现电能的传输和转换。在电力系统中,发电机组把热能、水能、原子能转换成电能,通过变压器、输电线路输送和分配到户,用户则根据需要将电能转换为机械能、光能和热能等。另一类是实现电信号的产生、变换和处理。通过电路元件将信号源的信号变换或加工成所需的输出信号。如收音机和电视机,通过接收天线把载有声音和图像信息的高频电视信号接收后转换成相应的电信号,然后通过电路将信号进行传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),恢复出原来的声音和图像信息,送到扬声器和显像管。

电路虽然形式多样、繁简不一,但作为电路的基本组成必须具有电源(或信号源)、负载和中间环节。

电源是把其他形式的能量(机械能、化学能)转换为电能的供电设备,信号源是将非电信号转换为电信号的器件。负载是指用电设备和器件,它将电能转换成其他形式的能量。常见的有电灯、电动机、扬声器等。电灯将电能转换为光能,电动机将电能转换为机械能等。中间环节起传输、分配和控制电能的作用,最简单的中间环节就是开关和导线,而实际电路的中间环节可能是相当复杂的。

无论电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,我们将电源或信号源称为激励,在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数

的条件下,讨论电路的激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

电气设备和器件种类繁多,即使是很简单的电气设备,在工作时所发生的物理现象也是很复杂的。例如一个实际的线绕电阻器,电流通过时,除了对电流呈现阻力外,还会产生微弱的磁场,因而具有电感的性质。由于实际器件的电磁性质比较复杂,难以用数学式子来描述它们,用这些实际器件组成电路时,如果不分主次,把这些现象或特性全部加以考虑,就会导致问题非常复杂,给分析电路带来很大困难。

为了便于对实际电路进行分析和用数学表达式精确地描述,将实际元器件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看成理想电路元件。除了理想电阻元件 R 之外,还有电感元件 L 、电容元件 C 以及理想电源等。由一些理想电路元件所组成的电路,称为实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。

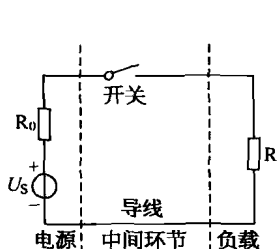


图 1.1 手电筒的电路模型

例如手电筒的实际电路中含有干电池、电珠、开关和筒体,图 1.1 所示为手电筒的电路模型,电路中表示电珠的电阻元件参数为 R ;干电池是电源元件,其参数为电压 U_s 和内阻 R_0 ;包括开关的筒体是连接干电池与电珠的中间环节。

又如日光灯电路的电路模型,就其灯管而言,可近似用一个电阻 R 来表示,而镇流器接入电路时将发生电能转换为磁场能量及电能转换为热能两种物理过程,所以用电感 L 和电阻 R_L 的串联组合来表示。

本书所讲述的电路均为由理想电路元件构成的电路模型而非实际电路,同时把理想电路元件简称为电路元件。

1.2 电路中的电流、电压及功率

1.2.1 电流

电荷在电场作用下作有规则的定向运动称为电流,通常在金属导体内部的电流是由自由电子在电场力作用下运动而形成的。电流的大小用电流强度来表示,电流强度是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度简称为电流。

电流的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电流,用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向随时间变化称为时变电流,一般用符号 i 表示。时变电流的大小和方向都随时间进行周期性变化且平均值为零,则称为交变电流,简称交流。

国际单位制中,电流的单位为安培,简称为安,用字母 A 表示。在电力系统中,电流的单位常为几安培、几十安培甚至更大;而在晶体管组成的电子电路中经常遇到较小的电流,是以 mA (毫安)或 μA (微安)为单位来计算的。它们的关系是: $1(A) = 10^3(mA) = 10^6(\mu A)$ 。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。但对于比较复杂的直流电路,往往事先不能确定电流的实际方向;对于交流电,电流的实际方向是随时间而变化的,也无法在电路图中标出它的实际方向。为方便电路分析,常任意选择一个方向作为电流的参考方向(在电路图中用箭头表示),所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的参考方向与电流的实际方向一致时,电流值为正,如图 1.2a 所示;若与电流的实际方向相反,则电流值为负,如图 1.2b 所示。在分析电路时,可以先任意假设电流的参考方向,并以此为准进行分析、计算,利用计算结果中电流的正负值结合参考方向来表明电流的真实方向。显然,在未标示参考方向的情况下,电流的正负是毫无意义的。

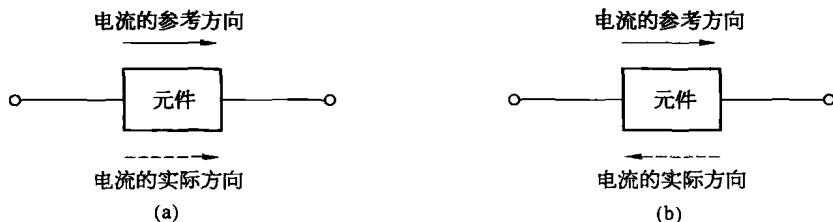


图 1.2 电流的参考方向
(a) 电流值为正; (b) 电流值为负

1.2.2 电压与电位

电路中 a、b 两点间的电压定义为电场力把单位正电荷由 a 点移至 b 点所做的功。

电压的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电压,用大写字母 U 表示,反之称为时变电压,一般用符号 u 表示。

国际单位制中,电压的单位为伏特,简称为伏,用字母 V 表示。在测量中也可用 kV (千伏)、 mV (毫伏)和 μV (微伏)为单位表示。它们的关系是: $1(kV) = 10^3(V) = 10^6(mV) = 10^9(\mu V)$ 。

电压的实际方向规定由高电位处指向低电位处,即电位降低的方向。

与电流的参考方向类似,电压的参考方向也可以任意选取,两点之间的电压参考方向可以用正(+)、负(-)极性表示,正极指向负极的方向就是电压的参考方向;也可用一个箭头表示电压的参考方向;还可用双下标表示电压,如 U_{ab} 表示 a、b 之间的电压参考方向由 a 指向 b。同样,所选的参考方向并不一定就是电压的实际方向。当电压取得的值为正值时,说明电压的实际方向与参考方向一致,如图 1.3a 所示;否则说明两者相反,如图 1.3b 所示。

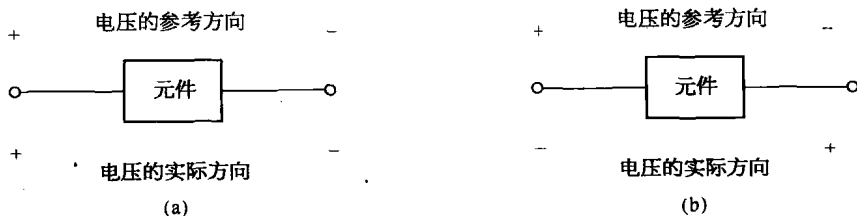


图 1.3 电压的参考方向
(a) 电压值为正; (b) 电压值为负

在分析电路尤其是电子线路时,常常需要计算电路中某点的电位。电路中某点的电位定义为电场力把单位正电荷由该点移至参考点所做的功。为了确定某点的电位,必须事先在电路中选定某一点作为“参考点”。参考点的电位通常规定为零。

在电路中 a、b 两点间的电压常称为 a、b 两点间的电位差。

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.1)$$

式中 V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。由此可见,电路中某点的电位就是该点到参考点的电压。

在电位计算中应注意以下两点:

(1) 电位是一个相对的物理量,不确定参考点,讨论电位是没有意义的。在同一个电路中,当参考点选定不同时,同一点的电位是不同的。

(2) 参考点选取的不同,并不影响同一电路中两点之间电压的大小,即两点之间电压的大小与参考点的选取无关。

对一个元件,电流参考方向和电压参考方向可以相互独立地任意确定,但为了方便起见,通常将其取为一致,称关联参考方向;如不一致,称非关联参考方向,如图 1.4 所示。

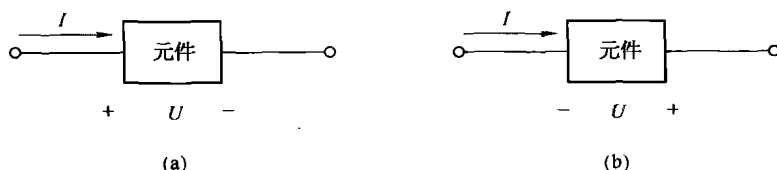


图 1.4 参考方向的关联性

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

1.2.3 功率

电场力在单位时间内所做的功称为电功率,简称功率。当一个元件上的电流、电压满足关联参考方向时,功率计算为:

$$P = UI \quad (1.2)$$

而当一个元件上的电流、电压为非关联参考方向时,功率计算为:

$$P = -UI \quad (1.3)$$

元件上的功率有吸收和发出两种可能,用功率计算值的正负相区别。当 $P > 0$ 时表示元件吸收功率,起负载的作用;当 $P < 0$ 时表示元件发出功率,起电源的作用。

若电流的单位为安培(A),电压的单位为伏特(V),则功率的单位为瓦特(W),简称瓦。

【例 1.1】 试判断图 1.5 中所示各元件上电流和电压的实际方向,计算各元件的功率并说明该元件实际是吸收功率还是发出功率。

解: 图 1.5a 中元件 1 上电流为负值,可判断电流的实际方向为 b 指向 a,电压值为正,实际方向同参考方向,为 a 指向 b。

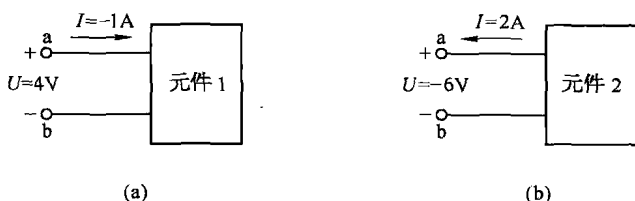


图 1.5 例 1.1 的电路

由于电流、电压为关联参考方向, $P = UI = 4 \times (-1) = -4(\text{W})$, 由于 $P < 0$, 该元件发出功率。

图 1.5b 中元件 2 上电流为正值, 可判断电流的实际方向为 b 指向 a, 电压为负值, 电压的实际方向为 b 指向 a。

由于电流、电压为非关联参考方向, $P = -UI = -(-6) \times 2 = 12(\text{W})$, 由于 $P > 0$, 该元件吸收功率。

【例 1.2】 如图 1.6 所示电路中, 五个元件分别代表电源或负载, 电流与电压的参考方向如图所示, 已知 $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = -3 \text{ V}$, $U_3 = -7 \text{ V}$, $U_4 = -2 \text{ V}$, $U_5 = -9 \text{ V}$, $I_1 = -3 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$, $I_4 = 1 \text{ A}$, (1) 计算各元件的功率, 判别哪些元件是电源? 哪些元件是负载? (2) 该电路的功率是否平衡?

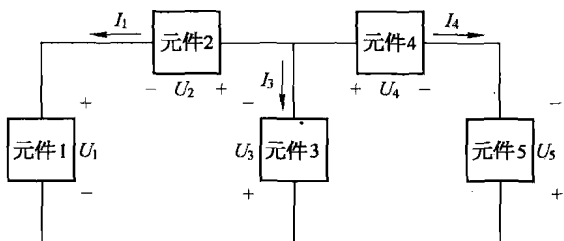


图 1.6 例 1.2 的电路

解: (1) 元件 1 电压与电流的参考方向关联, 有:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10 \times (-3) = -30(\text{W}) \quad \text{发出功率, 是电源;}$$

元件 2 电压与电流的参考方向关联, 有:

$$P_2 = U_2 I_1 = -3 \times (-3) = 9(\text{W}) \quad \text{吸收功率, 是负载;}$$

元件 3 电压与电流的参考方向非关联, 有:

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-7) \times 2 = 14(\text{W}) \quad \text{吸收功率, 是负载;}$$

元件 4 电压与电流的参考方向关联, 有:

$$P_4 = U_4 I_4 = (-2) \times 1 = -2(\text{W}) \quad \text{发出功率, 是电源;}$$

元件 5 电压与电流的参考方向非关联, 有:

$$P_5 = -U_5 I_4 = -(-9) \times 1 = 9(\text{W}) \quad \text{吸收功率, 是负载。}$$

$$(2) \quad P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0 \quad \text{该电路功率平衡。}$$

1.3 欧姆定律

线性电阻元件电压和电流取关联参考方向, 在任何时刻流过电阻的电流与电阻两端的

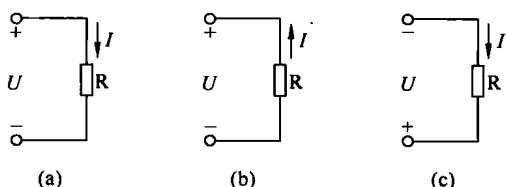


图 1.7 欧姆定律

电压成正比,这就是欧姆定律。对图 1.7a 的电路,欧姆定律可用下式表示:

$$U = RI \quad (1.4)$$

当线性电阻元件在电压和电流取非关联参考方向如图 1.7b 和 1.7c 时,则得:

$$U = -RI \quad (1.5)$$

值得注意的是:欧姆定律有两种正负号,式(1.4)与式(1.5)中的正负号是由电压和电流的参考方向得出的,而电压和电流本身还有正值与负值之分。

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆,简称欧,用 Ω 表示。根据实际的需要,电阻的单位可以分别用 Ω , $k\Omega$ (千欧)和 $M\Omega$ (兆欧)来度量。

线性电阻的伏安特性曲线如图 1.8 所示,是一条通过原点的直线。电阻值可由直线的斜率来确定。满足欧姆定律的电阻元件均为线性电阻元件。如果伏安特性曲线不是直线,则称为非线性电阻元件。通常所指的电阻元件,都是线性电阻元件。

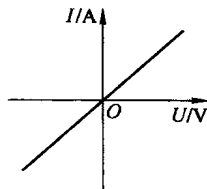


图 1.8 线性电阻元件的伏安特性曲线

电阻元件也可以用另一个参数——电导 G 来表征,电阻的倒数称为电导,即:

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.6)$$

电导的单位是 S(西), $1\text{ S} = 1/\Omega$ 。

在电压和电流取关联参考方向时,由功率的定义,电阻元件消耗的功率为:

$$P = UI = RI^2 = GU^2 \quad (1.7)$$

电流通过电阻时要产生热效应,即消耗一定的电能,并转换成热能。而热能向周围空间散去,不可能再直接转换为电能回到电源。可见,电阻中的能量转换过程是不可逆的。

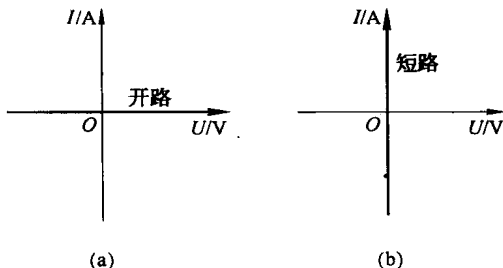


图 1.9 开路和短路的伏安特性曲线

(a) 开路的伏安特性; (b) 短路的伏安特性

线性电阻有两种值得注意的特殊情况——开路和短路。当一个线性电阻的端电压无论何值,流过它的电流恒等于零,就把它称为“开路”。开路的伏安特性曲线与电压轴重合,如图 1.9a 所示,相当于 $R = \infty$ 或 $G = 0$ 。当流过一个线性电阻的电流无论何值,它的端电压恒等于零,就把它称为“短路”。短路的伏安特性曲线与电流轴重合,如图 1.9b 所示,相当于 $R = 0$ 或 $G = \infty$ 。

作为理想化电路元件的线性电阻,其工作电压、电流和功率没有任何限制。而实际的电阻器在一定电压、电流和功率范围内才能正常工作。电子设备中常用的碳膜电阻器、金属膜电阻器在生产制造时,除标明标称电阻值外,还要规定额定功率值。额定值是制造厂为了使

产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。在一般情况下,电阻器的实际工作电压、电流和功率均不应超过其额定值。

根据电阻 R 和额定功率 P_N ,可用以下公式计算电阻器的额定电压 U_N 和额定电流 I_N :

$$U_N = \sqrt{RP_N} \quad (1.8)$$

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} \quad (1.9)$$

1.4 理想电压源和理想电流源

在电路中,电源的作用是将其他形式的能量(热能、光能、化学能等)转换成电能。电源的种类很多,有干电池、蓄电池、发电机等。理想电压源和理想电流源是从实际电源抽象得到的理想电路模型,即只表示了实际电压源提供电压和实际电流源提供电流的特性而忽略其内阻作用。

1.4.1 理想电压源

实验室中常见的各种直流和交流稳压电源,当其电流在相当大的范围内变化时,仍然能保持输出电压的稳定,由此得出一种理想的元件——理想电压源。理想电压源的端电压为:

$$u(t) = u_s(t)$$

式中 $u_s(t)$ 为给定的时间函数,元件两端的电压与通过元件的电流无关。当 $u_s(t)$ 为恒定值时, $U = U_s$, 元件两端的电压始终等于恒定值,符号如图 1.10 所示。

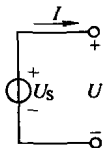


图 1.10 理想电压源

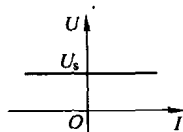


图 1.11 理想电压源的伏安特性

理想电压源的伏安特性曲线如图 1.11 所示,它是一条与电流轴平行的直线,表示理想电压源的电流不由自身确定,而由与它连接的外电路确定,其值可大可小,可正可负。如果外电路开路,则电流为零。当电流的实际方向从理想电压源的正极流出时,理想电压源发出能量,处在电源的状态;当电流的实际方向从正极流入时,理想电压源吸收能量,处在负载的状态。

1.4.2 理想电流源

理想电流源是从实际电源抽象出来的另一种电路元件,它能向外电路提供较为稳定的电流。理想电流源的输出的电流为: