

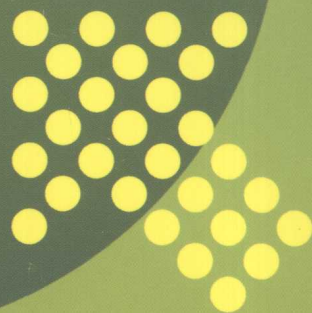
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG JISHU JI SHIXUN

电工技术及实训

李 伟 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材

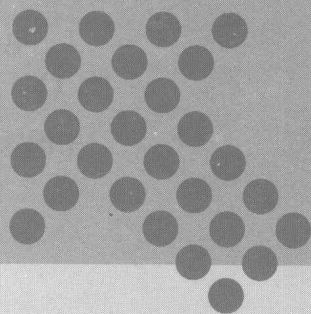


DIANGONG JISHU JI SHIXUN

电工技术及实训

主 编 李 伟
副主编 徐瑞丽
编 写 杜书玲
主 审 赵丽萍

连红运
吉炜寰 孙雷明



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书共分 10 章。上篇理论部分主要包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、磁路与变压器、电动机及其控制、安全用电；下篇实训部分主要包括电工基本操作、室内照明线路、三相异步电动机、低压电器。此外，理论部分每一节后有思考与练习题，每一章后有本章小结及习题，以便学生了解自己对主要知识点的掌握程度。本书将电工技术基础理论与实践教学有机结合，章节安排条理清晰、衔接有序，实训内容采用模块化结构，注重教学实际中教材的可操作性和实用性。

本书可作为高职高专院校自动化技术专业、电子信息工程技术专业、机电一体化技术专业及其他相关专业的教材，也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术及实训/李伟主编. —北京：中国电力出版社，2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8164 - 0

I. 电… II. 李… III. 电工技术—高等学校—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 001146 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 366 千字

定价 24.40 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着现代信息技术、控制技术的飞速发展,迫切需要自动化技术专业、电子信息工程技术专业、机电一体化技术专业及其他相关专业学生掌握现代电工技术基本理论和应用技术,以适应各专业不断发展的需要。根据国家对高等职业教育发展的要求,并结合高等职业院校的教学要求和办学特点,组织编写了《电工技术及实训》一书,以适应培养专业人才的需求。

本书将电工技术基础理论与实践教学前后呼应地融为一体,包括电工基础、磁路及变压器、电机、电气控制、安全用电以及相对应的实训内容。章节安排条理清晰,衔接有序。十分注重教学实际中教材的可操作性和实用性。

本书编写遵循以下原则:

(1) 根据高职教育的特殊性,使教材内容理论联系实际。尽量避开高深的理论推导和对元器件内部电路的过细研究,注重介绍元器件的外部特性及使用技能,突出高职教育“够用为度,注重实践”的特点,更贴近高职院校教学实际。

(2) 在教材中融入国外发达国家高职教育的先进经验,突出与社会生产实际紧密相联和及时反映高新技术的特点,每一章前都有“教学要求”,章后小结对本章有一大纲性的回顾,精心编排检测题,可帮助学生了解自己对主要知识点的掌握程度。

(3) 注重教材内容理论与实践的有机结合。理论教学与实践教学之间有很好的切入点,内容前后呼应;理论内容可以满足实训所需,实训环节又增强了学生对理论环节所学知识的领悟与理解。

(4) 实训内容采用模块化结构,一个模块包含若干个内容,一个内容就是一个知识点。重点突出,主题鲜明。以现行的相关技术为基础,以任务驱动教学,突出工艺要领和操作技能的培养。将每个实训内容的训练结果量化,并给出相应的量化参考标准。

本书由河南职业技术学院李伟教授担任主编,徐瑞丽、连红运担任副主编。李伟编写第4章和第6章,徐瑞丽编写第1章的1.1~1.6和第2章,连红运编写第5章和实训模块Ⅲ、Ⅳ,杜书玲编写第1章的1.7~1.9和第3章,吉炜寰编写实训模块Ⅱ,孙雷明编写实训模块Ⅰ。

本书由郑州铁路职业技术学院赵丽萍副教授主审,在本书编写过程中还参考了一些文献资料,在此一并致谢。

由于时间仓促,加之作者水平所限,不妥及疏漏之处在所难免,望专家与广大读者不吝赐教。

编 者

2008年12月

目 录

前言

理 论 篇

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的基本结构和电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	3
1.3 电阻元件	6
1.4 电压源与电流源及其等效变换	9
1.5 基尔霍夫定律	13
1.6 电路中电位的概念及计算	17
1.7 支路电流法	19
1.8 叠加定理	21
1.9 戴维南定理	23
本章小结	26
习题	27
第 2 章 正弦交流电路	32
2.1 正弦交流电的基本概念	32
2.2 正弦量的相量表示法	35
2.3 单一参数的正弦交流电路	40
2.4 电阻、电感与电容电路	49
2.5 正弦交流电路的谐振	54
2.6 正弦交流电路的功率及功率因数	57
本章小结	62
习题	63
第 3 章 三相电路	66
3.1 三相对称电源	66
3.2 三相电源的连接	67
3.3 三相负载的连接	69
3.4 对称三相电路	70
3.5 三相电路的功率	74
本章小结	75
习题	76
第 4 章 磁路与变压器	78

4.1 磁路的基本概念	78
4.2 变压器的工作原理和用途	88
4.3 特殊变压器	93
本章小结	96
习题	97
第5章 电动机及其控制	99
5.1 常用低压电器	99
5.2 三相异步电动机的结构和原理	113
5.3 三相异步电动机的基本控制电路	118
本章小结	124
习题	125
第6章 安全用电	126
6.1 触电方式	126
6.2 触电急救	129
6.3 保护接地	134
6.4 保护接零	137
6.5 漏电保护器	138
6.6 过电压及其防护	140
本章小结	141
习题	142

实 训 篇

模块 I 电工基本操作	143
实训 I.1 常用电工工具	143
实训 I.2 导线的剖削、连接和绝缘恢复	151
实训 I.3 常用电工仪表	160
模块 II 室内照明线路	173
实训 II.1 常用灯具的安装	173
实训 II.2 开关和插座的安装	180
实训 II.3 量电与配电装置的安装	185
实训 II.4 塑料护套线配线	191
实训 II.5 塑料槽板配线	194
模块 III 三相异步电动机	200
实训 III.1 三相异步电动机安装	200
实训 III.2 三相异步电动机拆卸与装配	205
模块 IV 低压电器	212
实训 IV.1 低压开关	212
实训 IV.2 熔断器	213
实训 IV.3 交流接触器	214

实训Ⅳ.4	热继电器·····	216
实训Ⅳ.5	时间继电器·····	217
实训Ⅳ.6	单向连续控制线路的安装与调试·····	219
实训Ⅳ.7	接触器连锁正反转控制线路的安装与调试·····	225
实训Ⅳ.8	星形—三角形控制线路的安装与调试·····	228
实训Ⅳ.9	能耗制动控制线路的安装与调试·····	232

理 论 篇

第 1 章 直 流 电 路

〔教学要求〕 了解和熟悉电路模型和理想电路元件的概念；理解和区分电压、电流、电动势、电功率的概念及其不同点；进一步熟悉欧姆定律及其应用；充分理解和掌握基尔霍夫定律的内容，并能初步运用基尔霍夫定律分析电路中的实际问题；深刻理解和掌握参考方向在电路分析中的作用；掌握电路中电压和电位的联系与区别；理解并掌握支路电流法、叠加定理和戴维南定理。

1.1 电路的基本结构和电路模型

1.1.1 电路的组成及功能

电流通过的路径称为电路，它是由若干电气设备或元器件按一定的方式用导线连接而成的电流通路。较复杂的电路又称为电网络。

1. 电路的组成

电路不管简单还是复杂，电路的基本组成部分都离不开三个基本因素，即电源、负载和中间环节。图 1-1 所示为手电筒电路。

(1) 电源。电源是将其他形式的能量转化成电能或是将其他形式的信号转换成有用的电信号（信号源），向电路提供电能或电信号的装置。它可以将化学能、热能、机械能、原子能等能量转换为电能。在电路中，电源是激励，是激发和产生电流的因素。

(2) 负载。负载是各种用电器的统称，是将电能或电信号转换成其他各种形式的能量或电信号的装置。在电路中，负载是响应，通过负载，把从电源接收到的电能转换为人们需要的能量形式，如电灯把电能转变成光能和热能、电动机把电能转换为机械能、充电的蓄电池把电能转换为化学能等。

(3) 中间环节。中间环节是传输、分配、控制电能或电信号的装置，可以把电能或电信号从电源传递到负载。中间环节可以是简单的传输导线、控制开关，而实际电路为了长期安全工作还需要一些保护设备（如熔断器、热继电器、空气开关等）。

2. 电路的功能

实际电路的组成多种多样，形式和结构也各不相同，其完成的功能有两种：一种是实现电能的传输、分配和转换，这类电路统称为电力电路，如电力系统把发电厂发电机组产生的电能，通过变压器、电力线路送到工厂和千家万户；一种是信号的产生、传递和

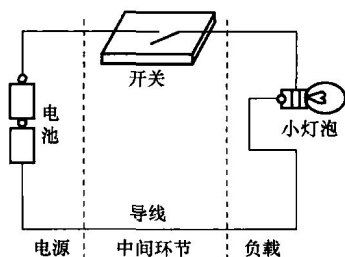


图 1-1 手电筒电路

处理,这类电路统称为信号电路,如各种物理量的测量电路、放大电路、声音、图像或文字处理电路。

1.1.2 电路模型

任一实际的电路元件,在工作时其本身及周围所发生电磁过程是复杂的,都存在电能的消耗、磁场能量的存储和电场能量的存储这些基本效应。另一方面,在同一个电器件上各种效应的表现并不是均衡的,在一定条件下,某一种效应处于主导地位,决定事物的本质,其他的效应处于次要地位。为了使问题简化,便于讨论电路的普遍性质,将实际电路元件理想化,突出其主要的电磁性质,我们把这种实际电路元件理想化得到的只具有某种单一电磁性质的元件称为理想电路元件,简称为电路元件。由理想电路元件互相连接组成的电路称为实际电路的电路模型。

理想电路元件主要有理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件和理想电源元件。电阻元件的主要性质是消耗电能;电感元件的主要性质为储存磁场能;电容元件的主要性质是储存电场能;电源元件的主要性质是将其他形式的能量转换为电能。在电路图中,理想电路元件用规定的图形符号表示,如图 1-2 所示。



图 1-2 理想电路元件的图形符号

对实际元器件的模型化处理,使得不同的实体电路部件,只要具有相同的电磁性能,在

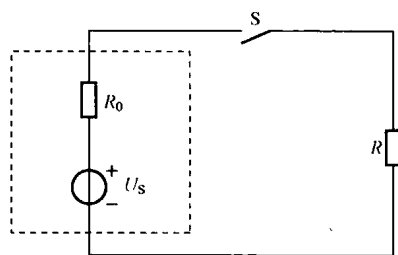


图 1-3 手电筒电路的电路模型

一定条件下就可以用同一个电路模型来表示,显然降低了实际电路的绘图难度。而且,同一个实体电路部件,处在不同的应用条件和环境下,其电路模型可具有不同的形式。有的模型比较简单,仅由一种元件构成;有的比较复杂,可用几种理想元件的不同组合构成。显然,实际电路元器件的理想化处理,给分析和计算电路也带来了极大的方便。

例如,图 1-3 所示为手电筒电路的电路模型。

思考与练习题

- 1.1.1 电路由哪几部分组成,各部分的作用是什么?
- 1.1.2 试述电路的分类及其功能。
- 1.1.3 什么是理想电路元件?如何理解“理想”二字在实际电路中的含义?什么是电路模型?

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向

电荷（带电粒子）有规则的定向移动形成电流。习惯上规定以正电荷运动的方向作为电流的实际方向。电流的大小用单位时间内通过导体横截面的电荷量进行衡量，称为电流强度，用符号 i 表示，设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量为 dq ，则电流计算公式为

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

其中电荷量 q 的单位是 C（库仑），时间 t 的单位是 s（秒），电流 i 的单位是 A（安培）。电流常用的单位还有 mA（毫安）、 μA （微安）。它们之间的换算关系为

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

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

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

电流不但有大小，而且还有方向。在只有一个电源的简单电路中，可以直接判断电流的实际方向，即在电源内部电流由负极流向正极，而在电源外部则由正极流向负极。但在复杂的直流电路及交流电路中电流的实际方向很难判断。

为了分析、计算的需要，引入了电流的参考方向。在电路分析时，任意选一个方向作为电流的参考方向，按此参考方向进行计算，如果解得 $i > 0$ ，则表明假定的参考方向与实际方向相同；如果解得 $i < 0$ ，则表明假定的参考方向与实际方向相反。这样我们就可以根据电流的参考方向和数值的正负来判断出电流的实际方向了，如图 1-4 所示。

电流的参考方向可用箭头表示，如图 1-5 (a) 所示；也可以用双下标表示，如图 1-5 (b) 所示，其中表示电流的参考方向是由 a 点指向 b 点。

在分析和计算电路的过程中，参考方向是人为假定的分析依据。但参考方向一经确定，整个分析过程中就不能再随意更改。

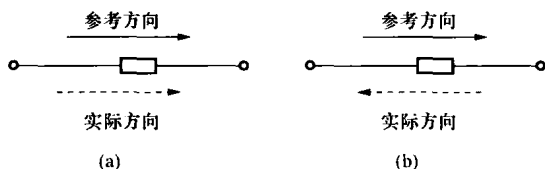


图 1-4 电流的实际方向与参考方向
(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

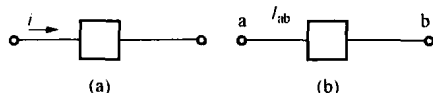


图 1-5 电流参考方向的表示方法
(a) 表示方法一; (b) 表示方法二

1.2.2 电压及其参考方向

1. 电压

电压是用来描述电场力做功本领大小的物理量。电路中，a、b 两点之间的电压 u_{ab} 在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功，即

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

式中功的单位用 J（焦耳），电量的单位用 C（库仑）时，电压的单位是 V（伏特）。电压的

单位还有 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏)。各种单位之间的换算关系为

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

电压的实际方向由高电位“+”指向低电位“-”，即电位降低的方向，因此通常把电压称为电压降。

在实际电路的分析计算中，需要引入电压的参考方向。在电路分析时，任意选一个方向作为电压的参考方向，按此参考方向进行计算。若 $u>0$ ，则表明假定的参考方向与实际方向相同；若 $u<0$ ，则表明假定的参考方向与实际方向相反。根据电压的参考方向和数值的正负来判断出电压的实际方向，如图 1-6 所示。

电压的参考方向可用箭头表示，箭头方向假定的电压降低的方向；也可以用“+”、“-”表示，“+”表示假定的高电位端，“-”表示假定的低电位端；也可以用双下标表示，例如 u_{ab} 表示电压的参考方向是由 a 点指向 b 点。电压参考方向的表示方法如图 1-7 所示。

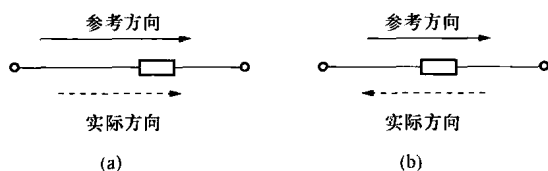


图 1-6 电压的实际方向与参考方向

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

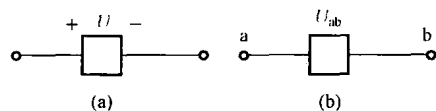


图 1-7 电压参考方向的表示方法

(a) 表示方法一; (b) 表示方法二

2. 关联参考方向与非关联参考方向

电压与电流的参考方向均可以任意假定，在同一元件上，如果电压的参考方向和电流的参考方向一致，则把电压和电流的参考方向称为关联参考方向，如图 1-8 所示；反之，则称为非关联参考方向，如图 1-9 所示。

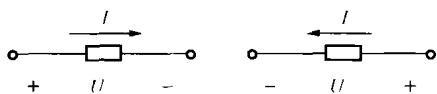


图 1-8 关联参考方向

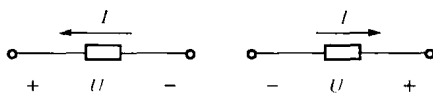


图 1-9 非关联参考方向

1.2.3 电动势

电动势是用来描述非电场力做功本领大小的物理量。在电源内部，非电场力将单位正电荷从电源的负极移至正极所做的功，称为电源的电动势，用字母 e 表示。其单位与电压相同，也为 V (伏特)。其计算公式为

$$e = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

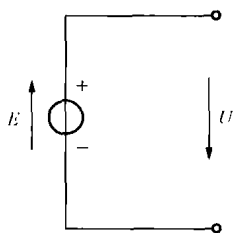


图 1-10 电压与电动势的方向

电动势的实际方向在电源内部由低电位指向高电位，即电位升高的方向，如图 1-10 所示。

1.2.4 电功率与电能

1. 电功率

单位时间内电场力所做的功称为电功率，简称为功率。电功率用 p 表示。

当电压与电流为关联参考方向时, 功率的计算公式为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

即电路功率等于该段电路的电压与电流的乘积。电功率的单位是 W (瓦特), 常用的单位还有 kW (千瓦)、mW (毫瓦)。

在直流电路中, 功率的计算公式为

$$P = UI \quad (1-6)$$

当电压与电流为非关联参考方向时, 则计算公式为

$$p = -ui \quad (1-7)$$

$$P = -UI (\text{直流}) \quad (1-8)$$

在计算功率时, 首先根据电压与电流的参考方向是否关联, 选用相应的计算公式, 再代入相应的电压和电流值, 电压与电流值可以有正负。无论用哪一个公式, 若计算出功率为正值, 则表示电路吸收功率, 相当于负载; 若计算出功率为负值, 则表示电路发出功率, 相当于电源。

根据能量守恒原理, 一个电路中, 一部分元件或电路发出的功率一定等于其他部分元件或电路吸收的功率, 或者说整个电路的功率是平衡的。

【例 1-1】 试求图 1-11 中各元件的功率, 并说明元件实际上是吸收还是发出功率?

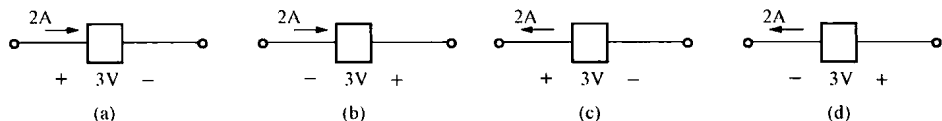


图 1-11 [例 1-1] 图

解 (a) 电压、电流的参考方向为关联参考方向, 所以元件的功率为

$$P = UI = 3 \times 2 = 6(\text{W}) > 0$$

说明元件实际上是吸收功率的。

(b) 电压、电流的参考方向为非关联参考方向, 所以元件的功率为

$$P = -UI = -3 \times 2 = -6(\text{W}) < 0$$

说明元件实际上是发出功率的。

(c) 电压、电流的参考方向为非关联参考方向, 所以元件的功率为

$$P = -UI = -3 \times 2 = -6(\text{W}) < 0$$

说明元件实际上是发出功率的。

(d) 电压、电流的参考方向为关联参考方向, 所以元件的功率为

$$P = UI = 3 \times 2 = 6(\text{W}) > 0$$

说明元件实际上是吸收功率的。

2. 电能

电流流过电炉时, 电炉会发热, 电流流过电灯时, 电灯会发光, 这说明, 电流流过不同负载时, 负载可以将电源提供的电能转变成其他形式的能, 电流就要做功。

电流所做的功叫电功 (电能), 用字母 W 表示。

在 t_0 到 t_1 的一段时间内, 电路消耗的电能

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-9)$$

前面讲述电压时曾讲过, 如果 a、b 两点间的电压为 U , 则将电量 q 的电荷从 a 点移到 b 点时, 电场力所做的功为

$$W = qU$$

$$\because I = \frac{q}{t} \rightarrow q = It$$

$$\therefore W = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-10)$$

电能的单位是 J (焦耳)。工程实际中, 还常常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·小时) 来表示电能的单位, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 又称为一度电, 即

$$1 \text{ 度电} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = (10^3 \times 3600)\text{J} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

思考与练习题

1.2.1 如图 1-12 所示, 若已知元件吸收功率为 -20W , 电压 $U=5\text{V}$, 求电流 I 。

1.2.2 如图 1-13 所示, 若已知元件中通过的电流 $I=-100\text{A}$, 元件两端电压 $U=10\text{V}$, 求电功率 P , 并说明该元件是吸收功率还是发出功率。

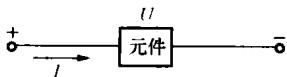


图 1-12 题 1.2.1 图

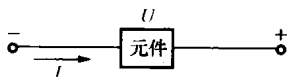


图 1-13 题 1.2.2 图

1.2.3 电压与电动势有何异同?

1.2.4 电功率大的用电器, 电功也一定大。这种说法正确吗? 为什么?

1.2.5 在电路分析中为什么要引入参考方向? 什么是电压和电流的关联参考方向?

1.3 电阻元件

1.3.1 电阻元件

电阻元件是反映导体消耗电能这一性质的一种电路元件, 是组成电路的基本元件之一。

电阻就是反映导体对电流起阻碍作用大小的一个物理量, 用字母 R 表示, 国际单位为 Ω (欧姆)。其常用的单位还有 $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧)。它们之间的换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3 \Omega \quad 1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻元件的性质是用其中的电流与两端电压的代数关系来表征的, 称为伏安特性 (VCR)。图 1-14 (a) 所示为电阻元件的电路符号。若电阻元件的伏安特性可以用一条通过 u 、 i 平面坐标原点的直线来表征, 称为线性

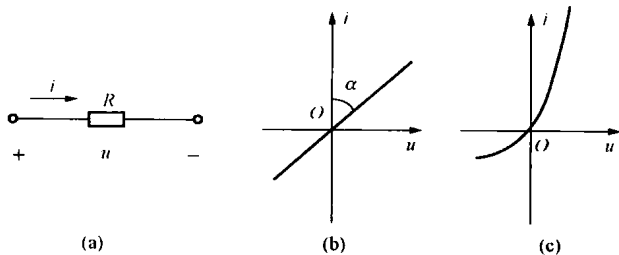


图 1-14 电阻元件的电路符号及伏安关系

(a) 电路符号; (b) 线性电阻元件; (c) 非线性电阻元件

电阻元件或简称线性电阻 [见图 1-14 (b)]; 若电阻元件的伏安特性可以用一条通过 u 、 i 平面坐标原点的曲线来表征, 就称为非线性电阻元件 [见图 1-14 (c)]。本书仅限于讨论线性电阻元件。

1.3.2 线性电阻元件与欧姆定律

线性电阻元件是一种理想电路元件, 其伏安特性曲线是通过 u 、 i 平面坐标原点且位于 I、III 象限的直线, 即元件的端电压与电流成正比。这个关系称为欧姆定律。

当电压和电流选取关联参考方向时 [见图 1-15 (a)], 欧姆定律表示为

$$u = Ri \quad (1-11)$$

线性电阻元件也可用另一个参数——电导来表征, 它定义为电阻的倒数, 用符号 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

电导可用来作为衡量一个电阻元件导电能力强弱的标志。电导的单位为 S (西门子)。用电导表示的欧姆定律为

$$i = Gu \quad (1-13)$$

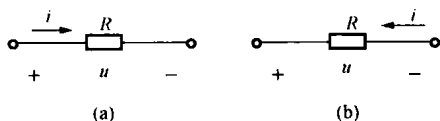


图 1-15 关联和非关联参考方向的情况
(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

当电压、电流选取非关联参考方向时 [见图 1-15 (b)], 欧姆定律应表示为

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu \quad (1-14)$$

对于线性电阻元件, 若它的电阻为无限大, 则当电压是有限值时, 其电流总是零, 这时就把它称为“开路”; 若它的电导为无限大 (即电阻为零), 则当电流是有限值时, 其端电压总是零, 这时就把它称为“短路”。电路中两点间用理想导体 (电阻为零) 连接时, 就形成短路。

实际上, 所有电阻器、电灯、电炉等器件, 它们的伏安特性曲线或多或少都是非线性的。但在一定条件下, 这些器件 (特别是绝大多数金属膜电阻器、碳膜电阻器、线绕电阻器等) 的伏安特性近似为一直线, 所以用线性电阻元件作为它们的电路模型不会引起明显的误差。

当电阻元件的电压、电流为关联的参考方向时, 电阻元件的功率为

$$\begin{aligned} p &= ui = Ri^2 = \frac{i^2}{G} \\ p &= ui = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \end{aligned} \quad (1-15)$$

可见, p 恒为正, 且这一结果与电阻元件的电压、电流是否为关联参考方向无关, 电阻元件总是吸收功率的。因此电阻元件是一种耗能元件。

当电阻值一定时, 电阻消耗的功率与电流 (或电压) 的平方成正比, 而不是电流 (或电压) 的线性函数。

今后, 为了叙述方便把线性电阻元件简称为电阻。这样电阻就有两个含义, 既指元件, 也指元件参数。

【例 1-2】 一个标有 “220V, 100W” 的白炽灯泡, 正常发光时通过灯丝的电流是多少? 灯丝的电阻是多少? 若每天用电 5h, 一个月 (30 天) 消耗电能为多少? 若将它接到

110V 的电源上, 其实际功率是多少?

解 正常工作时的电流, 由 $P = UI$ 可得

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.4545(\text{A})$$

灯丝电阻 R , 由 $P = \frac{U^2}{R}$ 可得

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484(\Omega)$$

一个月消耗的电能为

$$W = PT = 100 \times 10^{-3} \times 5 \times 30 = 15(\text{kW} \cdot \text{h})$$

若接到 110V 的电源上, 实际功率为

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{484} = 25(\text{W})$$

额定功率为 100W 的负载, 当工作电压为额定电压的一半时, 实际功率只有 25W, 即额定功率的 1/4, 可见, 负载只有在额定电压下工作, 才能达到额定的功率。

1.3.3 电气设备的额定值

各种电气设备或元器件的电压、电流及功率都规定有一个限额, 这个限额值就称为电气设备的额定值, 包括额定电压、额定电流和额定功率, 分别用 U_N 、 I_N 、 P_N 表示。电气设备的额定值是指导用户正确使用电气设备的技术数据, 这些技术数据是根据生产过程的要求和条件的需要设计制定的, 通常标在设备的铭牌上或在说明书中给出。由于功率、电压和电流之间有一定的关系, 所以在给出额定值时, 没有必要全部给出。例如对灯泡、电烙铁等通常只给出额定电压和额定功率, 而对于电阻器除电阻值外, 只给出额定功率。

大多数电气设备(如电动机、变压器等)的寿命与其绝缘材料的耐热性及绝缘强度有关。当电流超过额定值时, 会引起电气设备的温升升高, 严重时可使绝缘材料过热, 绝缘性能下降甚至损坏。另外电压过高有可能击穿绝缘材料。反之, 当电流、电压的实际值远小于额定值时, 电气设备得不到充分利用, 功耗增大, 效率降低。根据电气设备电压、电流和功率实际值与其额定值的大小关系, 电气设备可能有三种运行状态: 当电压、电流和功率的实际值小于其额定值时, 称电气设备为欠载(或轻载)运行状态; 当电压、电流和功率的实际值大于其额定值时, 称电气设备为过载(或超载)运行状态; 当电压、电流和功率的实际值等于其额定值时, 称电气设备为满载运行状态(或额定工作状态)。电气设备只有在额定状态下工作, 才最经济合理、安全可靠。

思考与练习题

1.3.1 求图 1-16 中的电压 u_{ab} 。

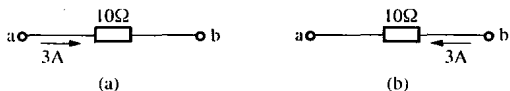


图 1-16 题 1.3.1 图

(a) 电路图一; (b) 电路图二

1.3.2 列出电阻元件功率的计算公式, 功率与电阻成正比还是成反比? 如何理解? 功率与电压(或电流)的关系是否为线性关系?

1.3.3 一个 500Ω 电阻, 通有电流 20mA,

试求其电导和消耗的功率。

1.3.4 一个标有“484Ω, 100W”的电阻器, 使用时容许的最大电压是多少? 容许通过的最大电流是多少?

1.4 电压源与电流源及其等效变换

1.4.1 电压源

1. 理想电压源

有些实际电源在工作时提供的端电压基本是稳定的, 如干电池、蓄电池、直流发电机、交流发电机、电子稳压器等, 我们把这类电源抽象为理想电压源元件, 简称为电压源元件。

理想电压源是一个理想元件, 它输出的端电压为一定值 U_S 或是一定的时间函数 $u_S(t)$, 而与流过它的电流无关。流过它的电流由它及与之相连接的外电路共同决定, 或者完全由外电路决定。提供恒定电压的电压源称为直流电压源。电压源的符号如图 1-17 (a)、(b) 所示, 其中图 1-17 (a) 表示一般电压源, 图 1-17 (b) 表示直流电压源。按图 1-17 中选定的电压源电压 u_S 和端电压 u 的参考方向, 电压源的特性可表示为

$$u = u_S(t) \quad i \text{ 为任意值}$$

或

$$U = U_S \quad I \text{ 为任意值} \quad (1-16)$$

因此, 电压源的伏安特性在 u 、 i 平面上是一条与 u 轴垂直的直线, 如图 1-17 (c) 所示。

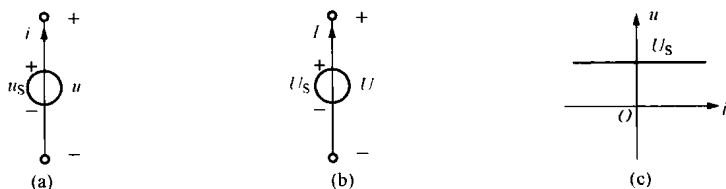


图 1-17 电压源的电路符号及伏安特性

(a) 一般电压源电路符号; (b) 直流电压源电路符号; (c) 直流电压源伏安特性

如果一个电压源的电压 $u_S = 0$, 其伏安特性为与 i 轴重合的直线, 它相当于短路。电压为零的电压源相当于短路。

理论上讲, 理想电压源的电流的大小可以是零 (外电路断开) 和无穷大 (外电路短路) 之间的任意值, 但是, 无穷大的电流将烧毁电源, 因此, 理想电压源决不允许短路。

2. 实际电压源

在实际电路中, 理想电压源是不存在的, 电源内部总有一定的电阻, 当接上负载通电后, 输出的电压就不是一个恒定值, 这时就不能简单地用理想电压源模型描述, 因此实际电压源通常用一个理想电压源与一个电阻的串联组合来表示。如图 1-18 所示, R_0 为电源内阻。此时实际电压源的输出电压与输出电流的关系为

$$U = U_S - IR_0 \quad (1-17)$$

实际电压源的伏安特性曲线如图 1-19 所示, 其端电压 U 随电流 I 增大而降低。内阻越小, 则实际电压源越接近于理想电压源。

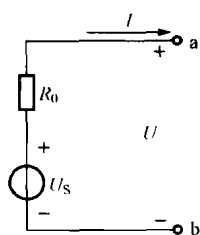


图 1-18 实际电压源

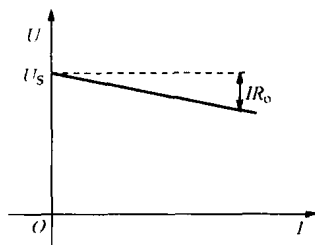


图 1-19 实际电压源的伏安特性曲线

1.4.2 电流源

1. 理想电流源

有些实际电源在工作时提供的电流基本是稳定的，如光电池、电子稳流器等，我们把这类电源抽象为理想电流源元件，简称电流源元件。

理想电流源也是一个理想元件，它输出的电流是一个定值 I_S 或是一定的时间函数 $i_S(t)$ ，而与它两端的电压无关。它两端的电压由它及与之相连接的外电路共同决定。提供恒定电流的电流源称为直流电流源。电流源的符号如图 1-20 (a)、(b) 所示，其中图 1-20 (a) 表示一般电流源，图 1-20 (b) 表示直流电流源。按图 1-20 中选定的电流源电流 i_S 和端电流 i 的参考方向，电流源的特性可表示为

$$i = i_S(t) \quad u \text{ 为任意值}$$

或

$$I = I_S \quad U \text{ 为任意值} \quad (1-18)$$

因此，电流源的伏安特性在 u 、 i 平面上是一条与 u 轴平行的直线，如图 1-20 (c) 所示。

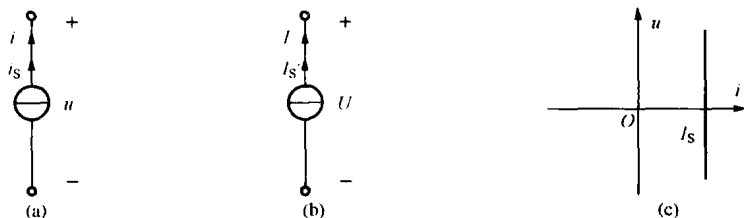


图 1-20 电流源的电路符号及伏安特性

(a) 一般电流源电路符号；(b) 直流电流源电路符号；(c) 直流电流源伏安特性

如果一个电流源的电流 $i_S = 0$ ，其伏安特性为与 u 轴重合的直线，它相当于开路。电流为零的电流源相当于开路。

理论上讲，理想电流源的端电压的大小可以是零（外电路短路）和无穷大（外电路开路）之间的任意值，但是，无穷大的电压将造成电流源的击毁，因此，理想电流源决不允许开路。

2. 实际电流源

实际电流源的内部也存在一定的损耗，当内部损耗不可忽略时，接上负载后，其输出的电流也不是一个恒定值。这时可用一个理想电流源与一个电阻的并联组合来表示，如图 1-21 所示， R_0 为电源内阻。

输出电流与电源端电压的关系为