



“十三五”职业教育规划教材

电工基础

朱 敏 史立平 主 编
王 艳 金旭栋 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”职业教育规划教材

电工基础

主 编 朱 敏 史立平
副主编 王 艳 金旭栋
编 写 李 华 顾 丹
林 浩 王海全
主 审 徐文媛



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”职业教育规划教材。

本书共分7章,主要包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、线性电路过渡过程的暂态分析、磁路与铁芯线圈电路及互感电路等。书中有丰富的典型例题,每节有思考题,每章有本章小结和习题,便于学生自学。本书编写基本概念叙述清楚,理论联系实际,语言简练通畅,避免烦琐的理论推导和计算,关注学生职业生涯的发展。

本书可作为高职高专院校的机械、模具、汽车、电气、信息类等专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/朱敏,史立平主编. —北京:中国电力出版社,
2015.8

“十三五”职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-7826-1

I. ①电… II. ①朱…②史… III. ①电工—高等职业教育—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第114891号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年8月第一版 2015年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.75印张 255千字

定价 22.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

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

《电工基础》是一门服务于专业课学习的专业基础课程,教学的主要目的之一就是培养高职高专层次学生应用电工知识解决实际问题的能力。本书以高职高专电气类专业为背景,立足于高职高专学生实际基础,根据教育部最新的“高职、高专教育电工基础课程基本要求”编写而成。

本书在编写过程中,力求做到基本概念叙述清楚,理论联系实际,语言简练通畅,避免烦琐的理论推导和计算。书中有丰富的典型例题,每节有思考题,每章有本章小结和习题,便于学生自学。

本书编写根据基础知识以“必需、够用”为度的原则,内容编写遵循基本规律,不拘泥于传统学科体系,注重知识点涵盖专业课程的基本需要,关注学生职业生涯的发展。教师可根据学生的专业方向和各专业改革的需求,有针对性地选择、组合教学内容,满足不同的课时需求。本书课时范围为50~128学时。

本书由常州机电职业技术学院朱敏、史立平担任主编,王艳、金旭栋担任副主编。参加编写工作的还有李华、顾丹、林浩和王海全。其中第1章由朱敏编写,第2章由王艳编写,第3章由史立平编写,第4章由金旭栋编写,第5章由李华编写,第6章由王海全编写,第7章由林浩、顾丹编写。

本书由常州机电职业技术学院徐文媛担任主审。同时,本书在编写过程中,得到许多同行的帮助,也引用、借鉴了相关专家的教材、著作,在此一并致谢。

限于作者水平及时间紧张,书中难免有疏漏之处,希望广大读者批评指正。

编者

2015年3月

目 录

前言

1 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电路的基本工作状态	7
1.4 电路的基本元件	8
1.5 基尔霍夫定律	19
本章小结	24
习题	25
2 电路的分析方法	29
2.1 电阻的串并联及其等效变换	29
2.2 电压源与电流源的等效变换	35
2.3 支路电流法	39
2.4 节点电压法	41
2.5 叠加原理	44
2.6 戴维南定理	46
本章小结	50
习题	51
3 单相正弦交流电路	55
3.1 正弦交流电的基本概念	55
3.2 单一参数的正弦交流电路	63
3.3 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	71
3.4 RLC 并联电路及复阻抗的串并联	74
3.5 正弦交流电路的功率及功率因数的提高	77
3.6 电路的谐振	82
本章小结	85
习题	87
4 三相正弦交流电路	90
4.1 三相电源	90
4.2 负载星形连接的三相电路	95
4.3 负载三角形连接的三相电路	100

4.4	三相交流电路的功率及其测量	103
4.5	供配电与安全用电	106
	本章小结	111
	习题	112
5	线性电路过渡过程的暂态分析	115
5.1	换路定则和一阶电路初始值的确定	115
5.2	一阶电路的零输入响应	117
5.3	一阶电路的零状态响应	121
5.4	一阶电路的全响应及三要素法	123
	本章小结	126
	习题	127
6	磁路与铁芯线圈电路	129
6.1	磁场的基本物理量	129
6.2	磁性材料的磁性能	131
6.3	磁路及其基本定律	134
6.4	交流铁芯线圈	137
6.5	变压器与电磁铁	139
	本章小结	146
	习题	147
7	互感电路	149
7.1	互感和互感电压	149
7.2	互感线圈的同名端	151
7.3	互感线圈的连接及等效	154
7.4	空芯变压器	158
	本章小结	160
	习题	161
	参考文献	163

1 电路的基本概念与基本定律

【本章提要】 本章主要介绍电路的基本概念和基本定律。主要包括电压和电流及其参考方向、电位和功率；电路的三种基本工作状态；欧姆定律；基尔霍夫定律。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成与功能

电路是由各种电气设备和器件按一定方式互相连接而成的电流的通路。如图 1-1 所示是一个简单电路，由电池、开关、灯泡和导线组成。电路的基本组成包括电源（如电池）、中间环节（如开关和导线）和负载（如灯泡）这三个部分。

电路的主要功能和作用一般有以下两个方面：

(1) 进行能量的传输、转换和分配。最典型的例子是电力系统。发电厂的发电机组把水能或热能转换成电能，通过变压器、输电线路输送给各用户，用户又把电能转换成机械能、热能或光能等，如图 1-2 (a) 所示。在这类电路中，一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少能量损耗以提高效率。

(2) 信号的传递与处理。常见的例子很多，如电视机接收各发射台发射的不同信号并进行放大、处理，转换成声音和图像，如图 1-2 (b) 所示。计算机也是由电路组成，它对键盘或其他输入设备输入的信号进行传递、处理，转换成图形或字符，输出在显示器或打印机上。所有这些都是通过电路把施加的输入信号变换成为所需要的输出信号。在这类电路中虽然也有能量的传输和转换，但是人们更关心的是信号传递的质量，如要求快速、准确、不失真等。

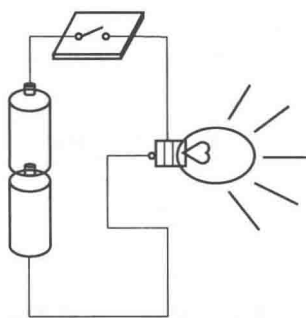


图 1-1 实际电路

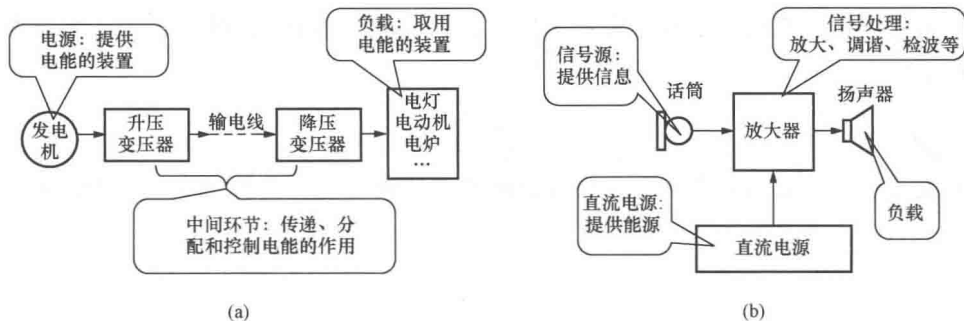


图 1-2 电路的两种典型应用

(a) 电力系统图；(b) 扩音器原理图

1.1.2 电路模型

实际电路中使用的电路部件一般都与电能的消耗现象及电磁能的储存现象有关, 这些现象交织在一起并发生在整个部件中。如果把这些现象或特性全部加以考虑, 会给电路分析带来困难。因此, 在电路理论中, 会忽略它的次要性质, 用一个足以表征其主要电磁性能的理想化元件来表示, 以便进行定量分析。例如一只白炽灯通过电流时除了具有电阻特性外, 还会产生磁场, 即具有电感性, 但白炽灯主要作用是消耗电能, 呈现电阻特性, 而产生的磁场很微弱, 因而将其近似看做纯电阻元件。

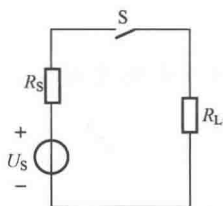


图 1-3 电路模型

电路模型是指由一个或者几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路。理想电路元件中主要有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件等。通常把理想电路元件称为元件, 将电路模型简称为电路。图 1-3 就是图 1-1 的电路模型图。

思考题



1.1.1 什么是电路? 一个最简单的电路有哪些基本组成部分? 各部分的作用是什么?

1.2 电路的基本物理量

为了定量描述电路的电磁过程和状态, 引入了电流、电压、电位、电动势、电荷、磁链、能量、电功率、电能等物理量。下面介绍几个基本物理量。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向运动, 形成传导电流。金属导体中的大量自由电子, 在外电场的作用下逆电场运动而形成电流; 电解液中带电离子作规则定向运动形成电流。

1. 定义

单位时间内通过导体横截面的电荷量称为电流强度, 简称电流。

电流主要有两类。

(1) 直流电流: 它的大小和方向都不随时间的变化而变化, 简称 DC。其电流强度用 I 表示, 即

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

(2) 交流电流: 它的大小和方向均随时间的变化而变化, 简称 AC。其电流强度用 i 表示, 即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

2. 单位

电流的单位是安培, 简称安, SI 符号为 A。1A 表示 1s 内通过导体横截面的电荷量为 1C。

为了使用上的方便, 常用的单位还有毫安 (mA)、微安 (μ A)、千安 (kA)。它们的关

系是

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

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

3. 方向

(1) 实际方向：一般指正电荷定向移动的方向。在电路图中用“ $-\cdots\rightarrow$ ”表示。

(2) 参考方向：在实际问题中，电流的实际方向在电路图中往往难以判断。为了分析方便，可以先任意假设一个电流的方向称为“参考方向”。在电路图中用“ $\longrightarrow$ ”表示。

在分析电路时，电流的参考方向可以任意假设，但电流的实际方向是客观存在的，因此，电流的参考方向不一定就是实际方向。规定计算所得电流为正值时，实际方向与参考方向一致；电流为负值时，实际方向与参考方向相反。电流的实际方向不因其参考方向选择的不同而改变。电流的实际方向和参考方向的关系如图 1-4 所示。

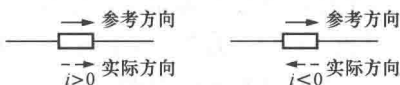


图 1-4 电流的实际方向和参考方向

【例 1-1】如图 1-5 所示，电路中电流的参考方向已选定。试指出各电流的实际方向。

解 图 1-5 (a) 中， $I > 0$ ， I 的实际方向与参考方向相同，电流 I 由 a 流向 b，大小为 2A。

图 1-5 (b) 中， $I < 0$ ， I 的实际方向与参考方向相反，电流 I 由 a 流向 b，大小为 2A。

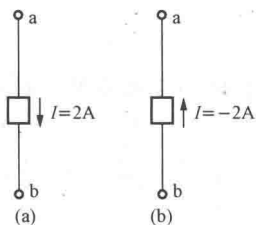


图 1-5 【例 1-1】图

1.2.2 电压

电荷在电路中流动，就必然会发生能量的交换。电荷可能在电路的某处获得能量而在另一处失去能量。因此，电路中存在着能量的流动，电源一般提供能量，有能量流出；电阻等元件吸收能量，有能量流入。为便于研究问题，引入“电压”这一物理量。

1. 定义

单位正电荷从 a 点移到 b 点时电场力所做的功称为 ab 两点间的电压。

(1) 直流电压：它的大小和方向都不随时间的变化而变化。用 U 表示为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

(3) 交流电压：它的大小和方向均随时间的变化而变化。用 u 表示为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

2. 单位

电压的单位是伏特，简称伏 (V)。当电场力将 1C 的正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功为 1J 时，a、b 两点间的电压为 1V。

为了使用上的方便，常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV)。它们的关系是

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

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

3. 方向

(1) 实际方向：一般指正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。

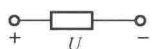


图 1-6 电压的
参考方向表示法

(2) 参考方向：与电流需要选定参考方向一样，也需要为电压选定参考方向。通常在电路图上用“+”表示参考方向的高电位端，用“-”表示参考方向的低电位端，也可以用箭头或双下标表示电压的参考方向（如 U_{ab} 表示电压参考方向从“a”点指向“b”点）。

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-5)$$

在分析电路时，当计算所得电压为正值时，实际方向与参考方向一致；电压为负值时，实际方向与参考方向相反。电压的实际方向不因其参考方向选择的不同而改变。

【例 1-2】如图 1-7 所示，电路中电压的参考方向已选定。试指出各电压的实际方向。

解 (1) 图 1-7 (a) 中， $U > 0$ ， U 的实际方向与参考方向相同，电压 U 由 a 指向 b，大小为 10V。

(2) 图 1-7 (b) 中， $U < 0$ ， U 的实际方向与参考方向相反，电压 U 由 b 指向 a，大小为 10V。

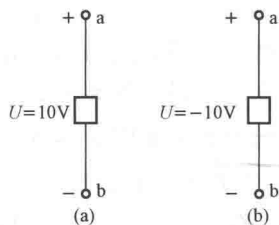


图 1-7 [例 1-2] 图

1.2.3 电位

在电路分析中，经常用到电位这一物理量。

1. 定义

在电路中任选一点为参考点 O，电场力将单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功称为该点的电位。

电路中某点的电位用注有该点字母的“单下标”的电位符号表示，如 A 点电位就用 V_A 表示。根据定义可知 $V_A = U_{AO}$ 。

电路中参考点本身的电位为零，即 $V_O = 0$ ，所以参考点也称为零电位点。若电路是为了安全而接地的，则常以大地为零电位体，接地点就是零电位点，是确定电路中其他各点的参考点。接地在电路中用“⊥”表示。

2. 单位

电位实质上就是电压，所以单位也是伏特。

3. 电位与电压的关系

以电路中的 O 点为参考点，则另外两点 A、B 的电位分别为 $V_A = U_{AO}$ ， $V_B = U_{BO}$ ，它们分别表示电场力将单位正电荷从 A 点或 B 点移到 O 点所做的功，那么电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功就是 U_{AB} ，就应该等于电场力将单位正电荷从 A 点移到 O 点，再从 O 点移到 B 点所做的功的和，即

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO}$$

所以

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

式 (1-6) 说明，电路中 A 点到 B 点的电压等于 A 点电位与 B 点电位的差值。因此两点间电压就是两点间的电位差。

参考点是可以任意选定的，但是一经选定，电路中的其他各点的电位也就确定了。选择的参考点不同，电路中各点的电位也会不同，但任意两点的电位差即电压是不变的。一个电路中只能选一个参考点，但可以根据分析问题的方便决定选择哪个做参考点。

1.2.4 电动势

为了维持电路中的电流,必须有一种外力持续不断地把正电荷从低电位点移到高电位点。在各种电源内部的这种外力称为电源力。电动势是表征电源力做功能力的物理量。

1. 定义

电源力将单位正电荷从电源的负极移到电源的正极所做的功称为电源的电动势。

直流电路中的电动势用 E 表示,交流电路用 e 表示。

2. 单位

电动势的单位也是伏特。

3. 方向

电动势的实际方向在电源内部从电源的负极指向正极,也就是电位升高的方向(即由低电位点指向高电位点)。如图 1-8 表示。

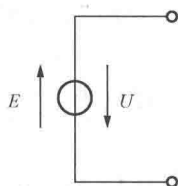


图 1-8 电动势

1.2.5 电功率

电路在工作时总伴随有其他形式能量的相互交换,而且电气设备和电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流或电压是否超过额定值,是否会过载损坏设备或部件,或者是否能正常工作。因此,在电路的分析计算中,电功率和能量的计算是十分重要的。

1. 定义

电场力在单位时间内所做的功或者电路在单位时间内消耗的能量称为功率。用 P 表示直流功率,用 p 表示交流电路的功率。

2. 单位

功率的单位是瓦特,简称瓦,SI 符号为 W。为了使用方便,常见的功率单位还有千瓦(kW)和毫瓦(mW)。它们的关系是

$$1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

3. 功率的计算

在分析电路时,原则上电流电压的参考方向是可以任意选择的。但为了计算方便,常设电流的参考方向与电压的参考方向一致,称为关联参考方向,如图 1-9 (a) 所示,电流的参考方向是由电压的高电位流向低电位的。如果设电流的参考方向与电压的参考方向不一致,则称为非关联参考方向,如图 1-9 (b) 所示,电流的参考方向是由电压的低电位流向高电位的。



图 1-9 关联参考方向与

非关联参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

在直流电路中,当电压和电流是关联参考方向时,按式 (1-7) 计算功率,有

$$P = UI \quad (1-7)$$

当电压和电流是非关联参考方向时,按式 (1-8) 计算功率,有

$$P = -UI \quad (1-8)$$

由于电压和电流均为代数量,无论按式 (1-7) 还是式 (1-8) 计算,功率可正可负。当 $P > 0$ 时,表示元件实际消耗或吸收电能,相当于负载;当 $P < 0$ 时,表示元件实际提供或释放电能,相当于电源。

4. 电能

功率是能量的平均转换率。对于发电设备来说,功率是单位时间内所产生的电能;对于用电设备来说,功率是单位时间内所消耗的电能。电能用 W 表示。

如果用电设备功率为 P ,使用时间为 t ,则该设备消耗的电能

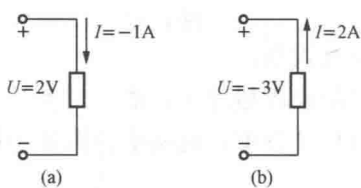
$$W = Pt = UIt \quad (1-9)$$

电能的单位为焦耳,简称焦。SI 符号为 J 。若功率单位是“千瓦”,符号为 kW 。时间单位是“小时”,符号为 h 。电能的单位就是“千瓦·时”,符号为 $kW \cdot h$ 。我们平时说的“1 度电”就是“1 千瓦·时”。

1 度电为

$$1kW \cdot h = 1000 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 J$$

【例 1-3】 试计算图 1-10 中的元件的功率,并判断其类型。



解 图 1-10 (a) 元件电流和电压为关联参考方向,有

$$P = UI = 2 \times (-1) = -2(W)$$

$P < 0$, 为供能元件,提供能量。

图 1-10 (b) 元件电流和电压为非关联参考方向,有

$$P = -UI = -(-3) \times 2 = 6(W)$$

$P > 0$, 为耗能元件,吸收能量。

图 1-10 [例 1-1] 图

思考题



1.2.1 选择题 (将正确的选项填入括号内)

1. 电流的国际单位是 ()。

- (A) 欧姆 (OM) (B) 欧姆 (R) (C) 安培 (A) (D) 瓦特 (W)

2. 电功率的单位是 ()。

- (A) $kW \cdot h$ (B) kW (C) $(^\circ)$ (D) V

3. 电压的单位是 ()。

- (A) V (B) W (C) A (D) Ω

4. 对电动势叙述正确的是 ()。

- (A) 电动势就是电压
(B) 电动势就是高电位
(C) 电动势就是电位差
(D) 电动势是外力把单位正电荷从电源负极移到正极所做的功

5. $1 \text{ 欧姆 } (\Omega) = () \text{ 千欧 } (k\Omega)$ 。

- (A) 10^{-3} (B) 10^3 (C) 10^6 (D) 10^9

6. 自由电子在电场力的作用下的定向移动称为 ()。

- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻

7. 电路中某两点间的电位差称为 ()。

- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻

8. 导体对电流起阻碍作用的能力称为 ()。

- (A) 电源 (B) 电流 (C) 电压 (D) 电阻

9. 一段圆柱状金属导体, 若将其拉长为原来的 2 倍, 则拉长后的电阻是原来的 () 倍。

- (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4

10. 同材料同长度的电阻与截面积的关系是 ()。

- (A) 无关 (B) 截面积越大, 电阻越大
(C) 截面积越大, 电阻越小 (D) 电阻与截面积成正比

1.2.2 判断题 (正确的打“√”, 错误的打“×”)

- () 1 马力等于 1000W。
- () 电池是把化学能转换为电能的装置。
- () 负载是取用电能的装置。
- () 电压的正方向规定为由低电位点指向高电位点。
- () 当电流正方向与实际方向相反时, 则电流 $I > 0$ 。
- () U_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。
- () I_{ab} 表示电流的实际参考方向是由 a 点流向 b 点。
- () 电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位 (“-” 极性) 端指向高电位 (“+” 极性) 端, 其参考方向就是实际方向。
- () 负电荷流动的方向为电流的方向。
- () 电压是没有方向的。

1.3 电路的基本工作状态

电路的工作状态有三种, 分别是开路、短路和有载工作状态。

1.3.1 电路的开路工作状态

开路是指电源与负载没有构成闭合路径。在图 1-11 所示电路中, 当开关 S1 断开时, 电路即处于开路状态, 此时电路中的电流为零, 电源无电能输出。因此, 电路开路也称为电源空载。

1.3.2 电路的短路工作状态

短路是指电源未经负载而直接通过导线接成闭合路径。如图 1-11 中, 开关 S1、S2 都闭合时, 电源短路, 流过负载的电流为零。又因为电源内阻一般都很小, 所以短路电流很大, 如不及时切断, 将引起剧烈发热而使电源、导线以及电流流过的仪表等设备损坏, 因此, 应尽量避免。为了防止短路事故造成的危害, 通常在电路中装设熔断器或自动断路器, 一旦发生短路, 便能迅速将故障部分切断, 从而保护电源, 免于烧坏。

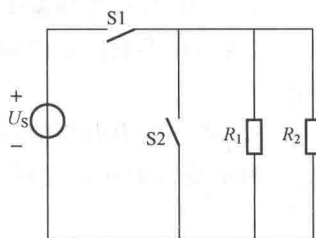


图 1-11 电路工作状态图

1.3.3 电路的有载工作状态

如图 1-11 所示, 当开关 S1 闭合、S2 断开时, 电源与负载构成闭合通路, 电路便处于有载工作状态。

一般用电设备都是并联于供电线上,如图 1-11 所示。因此,接入的负载数愈多,负载电阻 R_L 愈小,电路中的电流便愈大,负载功率也愈大。在电工技术上把这种情况称为负载增大。显然,所谓负载的大小指的是负载电流或功率的大小,而不是负载电阻的大小。

每一台电气设备都有一个正常条件下运行而规定的正常允许值,这是由电气设备生产厂家根据其使用寿命与所用材料的耐热性能、绝缘强度等而标注的该设备的额定值,电气设备的额定值常标注在铭牌上或写在说明书中。额定值的项目很多,主要包括额定电流、额定电压以及额定功率等,分别用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示。例如,滑线变阻器的额定电流和额定电阻为 1A 和 300 Ω ;某电动机的额定电压、额定电流、额定功率、额定频率分别为 380V、8.6A、4kW 和 50Hz 等。

电气设备都应在额定状态下运行,通常把工作电流超过额定值时的情况叫做“超载”或“过载”。超额定值运行,设备轻则缩短使用寿命,重则损毁设备。例如,若发电机线圈中的电流过大,线圈就会因过热而损坏绝缘;再如电容器,若承受过高电压,两极板之间的介质就会被击穿;各种指针式仪表,若超过其量程则不能读数或打弯指针等。

把工作电流低于额定值时的情况叫“轻载”或“欠载”。低于额定值运行,可能造成不能发挥设备全部效能,也会造成浪费(大马拉小车)。

当工作电流等于额定电流时称为“满载”。

注意:不能将额定值与实际值等同。例如,一只灯泡,标有电压 220V,功率 100W,这是它的额定值,表示这只灯泡接在电压 220V 电源上吸收功率是 100W。在使用时,电源电压经常波动,稍高于或低于 220V,这样灯泡的实际功率就不会正好等于其额定值 100W 了。所以,电气设备在使用时,电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值。此外,额定值的大小会随着工作条件 and 环境温度变化,若设备在高温环境下使用,则应适当降低额定值或改善散热条件。例如,某些三极管和集成电路的散热片就是为了安全使用而装设的。

思考题



1.3.1 电路有哪些基本工作状态?

1.3.2 在手电筒电路中,如果开关发生断路或短路故障,会发生什么现象?会造成损失吗?

1.3.3 一只手电筒使用 1 号标准电池,电池电压是 1.5V,使用一段时间后,灯泡几乎不亮。测电池端电压,发现电压值是 1.2V,但是其电流值几乎为零,这是为什么?

1.4 电路的基本元件

电路元件是构成电路的最基本单元。理想的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源五种。研究元件的规律是分析和研究电路规律的基础。

1.4.1 电阻元件

1. 电阻与电阻元件

当电荷在电场力的作用下在导体内部作定向运动时，通常要受到阻碍作用，物体对电子运动呈现的阻碍作用，称为该物体的电阻。由具有电阻作用的材料制成的电阻器、白炽灯、电烙铁、电炉等实际元件，当其内部有电流流过时，就要消耗电能，并将电能转换为热能、光能等能量而消耗掉。我们将这类具有对电流有阻碍作用，消耗电能特征的实际元件，集中化、抽象化为一种只具有消耗电能的电磁性质的理想电路元件——电阻元件。电阻元件是一种对电流有“阻碍”作用的耗能元件。

电阻用符号 R 表示，电路符号如图 1-12 所示。电阻单位为欧姆，简称欧，其 SI 符号为 Ω 。电阻常见的单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等，有

$$1k\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$$

常见电阻有膜式电阻、绕线电阻器等。膜式电阻如图 1-13 所示，绕线电阻器如图 1-14 所示。几种常见的电阻符号如图 1-15 所示。



图 1-12 电阻元件

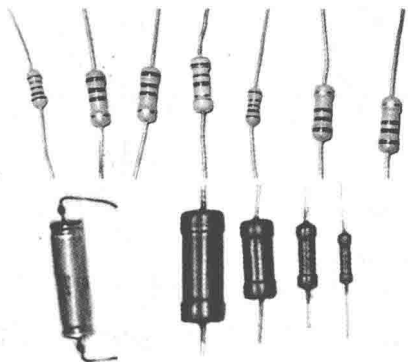


图 1-13 膜式电阻



图 1-14 绕线电阻器



图 1-15 常见的电阻符号

2. 电导

在作某些电路的计算时，往往用电阻的倒数计算比用电阻还来得方便，因此把电阻的倒数给予一个专有名称叫做“电导”，用符号 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$$

电导是反映材料导电能力的一个参数。电导的单位是西门子，简称西，其 SI 符号为 S 。

3. 电阻元件的伏安特性

电阻元件作为一种理想电路元件,它的大小与材料有关,而与电压、电流无关。若给电阻通以电流 i ,这时电阻两端会产生一定的电压 u ,电压 u 与电流 i 的比值为一个常数,这个常数就是电阻 R ,这也就是物理中介绍过的欧姆定律,其表达式可表示为

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

值得说明的是,式(1-11)是在电压 u 与电流 i 为关联参考方向下成立的,如图1-14。若 u 、 i 为非关联参考方向,则欧姆定律表示为

$$U = -Ri \quad (1-12)$$

当然,欧姆定律也可以表示为

$$i = Gu \quad (u、i \text{ 为关联参考方向}) \quad (1-13)$$

或
$$i = -Gu \quad (u、i \text{ 为非关联参考方向}) \quad (1-14)$$

式(1-12)~式(1-15)反映了电阻元件本身所具有的规律,也就是电阻元件对其电压、电流的约束关系,即伏安关系。

如果把电阻元件上的电压取作横坐标,电流取作纵坐标,画出电压与电流的关系曲线,则这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线,如图1-16所示。

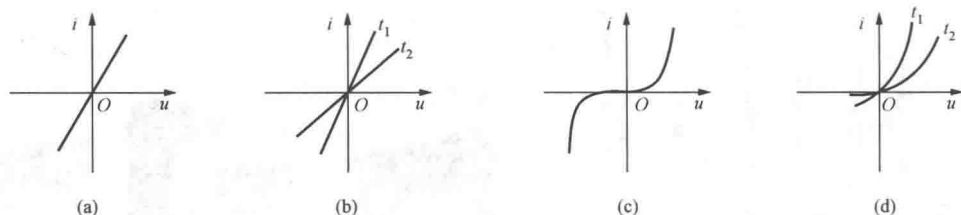


图 1-16 电阻元件的伏安特性曲线

若电阻元件的伏安特性曲线不随时间变化,则该元件为时不变电阻,如图1-16(a)、(c);否则为时变电阻,如图1-16(b)、(d)。若电阻元件的伏安特性曲线为一条经过原点的直线,则称其为线性电阻,如图1-16(a)、(b);否则为非线性电阻,如图1-16(c)、(d)。

所以,图1-16(a)为线性时不变电阻,图1-16(b)为线性时变电阻,图1-16(c)为非线性时不变电阻,图1-16(d)为非线性时变电阻。

非线性电阻元件中的电流和端电压不是直线关系,不遵守欧姆定律,因此不能用式(1-11)~式(1-14)来计算,通常表示成 $i = f(u)$ 的形式,图1-16(c)所示曲线就是半导体二极管的伏安特性曲线(半导体二极管可认为是非线性电阻元件)。

因而,广义的电阻元件定义如下,在任一时刻 t ,一个二端元件的电压 u 和电流 i 两者之间的关系可由 u - i 平面上的一条曲线确定,则此二端元件称为电阻元件。

严格地说,电阻器、白炽灯、电烙铁、电炉等实际电路元件的电阻或多或少都是非线性的。但在一定范围内,它们的电阻值基本不变,若当做线性电阻来处理,是可以得到满足实际需要的结果。线性电阻在实际电路中应用最为广泛,本书将主要讨论线性元件及含线性元件的电路,以后如果不加特别说明,本书中的电阻元件皆指线性电阻元件。

为了叙述方便,常将线性电阻元件简称电阻。这样,“电阻”及其相应的符号 R 一方面表示一个电阻元件,另一方面也表示这个元件的参数。

【例 1-4】 计算如图 1-17 所示电路的 U_{ao} 、 U_{bo} 、 U_{co} ，已知 $I_1=2\text{A}$ ， $I_2=-4\text{A}$ ， $I_3=-1\text{A}$ ， $R_1=3\Omega$ ， $R_2=3\Omega$ ， $R_3=2\Omega$ 。

解 R_1 、 R_2 的电压和电流是关联参考方向，故用式 (1-11) 计算电压为

$$U_{ao} = I_1 R_1 = 2 \times 3 = 6(\text{V})$$

$$U_{bo} = I_2 R_2 = -4 \times 3 = -12(\text{V})$$

R_3 的电压和电流是非关联参考方向，故用式 (1-12) 计算电压

$$U_{co} = -I_3 R_3 = -(-1) \times 2 = 2(\text{V})$$

【例 1-5】 如图 1-18 所示，已知 $R=100\text{k}\Omega$ ， $U=50\text{V}$ ，求电流 I 和 I' ，并标出电压 U 及电流 I 、 I' 的实际方向。

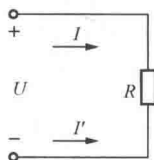


图 1-18 [例 1-5] 图

解 因为电压 U 和电流 I 为关联参考方向，所以

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50}{100 \times 10^3} = 0.5(\text{mA})$$

而电压 U 和电流 I' 为非关联参考方向，所以

$$I' = -\frac{U}{R} = -\frac{50}{100 \times 10^3} = -0.5(\text{mA})$$

或

$$I' = -I = -0.5(\text{mA})$$

电压 $U>0$ ，实际方向与参考方向相同；电流 $I>0$ ，实际方向与参考方向相同；电流 $I'<0$ ，实际方向与参考方向相反。从图 1-17 中可以看出，电流 I 和 I' 的实际方向相同，说明电流实际方向是客观存在的，与参考方向的选取无关。

4. 电阻元件的功率

当电阻元件上电压 U 与电流 I 为关联参考方向时，由欧姆定律 $U=RI$ ，得元件吸收的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} = GU^2 \quad (1-15)$$

若电阻元件上电压 U 与电流 I 为非关联参考方向，这时欧姆定律 $U=-RI$ ，元件吸收的功率为

$$P = -UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} = GU^2 \quad (1-16)$$

由式 (1-15) 和式 (1-16) 可知， P 恒大于等于零。这说明：任何时候电阻元件都不可能输出电能，而只能从电路中吸收电能，所以电阻元件是耗能元件。

对于一个实际的电阻元件，其元件参数主要有两个：一个是电阻值，另一个是功率。如果在使用时超过其额定功率（是考虑电阻安全工作的限值），则元件将被烧毁。

例如，一只 1000Ω 、 5W 的金属膜电阻误接到 220V 电源上，立即冒烟、烧毁。这只金属膜电阻吸收的功率为

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{1000} = 48.4(\text{W})$$

但这个金属膜电阻按设计仅能承受 5W 的功率，所以引起电阻烧毁。

如果电阻元件把接受的电能转换成热能，则从 t_0 到 t 时间内，电阻元件的热量 Q 也就