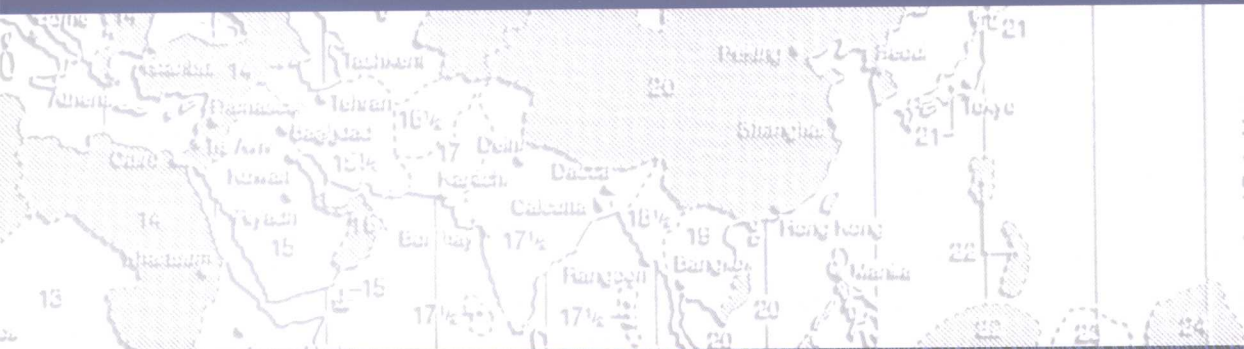




卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



电工基础

ELECTRICAL ENGINEERING BASE

主 编 张永飞



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·21 世纪高职高专精品规划教材

电 工 基 础

Electrical Engineering Base

主编 张永飞

参编 王丽华 石梅香 董春霞

内容简介

本书共分为9章,主要内容包括电路的基本概念、电路的基本定理、正弦交流电路、三相交流电路、非正弦交流电及谐波分析、线性电路的暂态分析、拉普拉斯变换、非线性电路简介、磁路和铁芯线圈。每章后都有学习指导、小结和习题,帮助学生进一步理解课程内容。

本书作为电工基础课程的教材,内容丰富、深入浅出、理论联系实际,充分体现了编者的多年一线教学经验和工程应用实践能力,可作为高职高专院校自动化类和机电类专业教材,也可供其他专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/张永飞主编. —天津:天津大学出版社,
2008.9

ISBN 978-7-5618-2776-5

I. 电… II. 张… III. 电工学-高等学校:技术
学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136043 号

出版发行 天津大学出版社

出版人 杨欢

地址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

印刷 廊坊市长虹印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

开本 169mm×239mm

印张 16

字数 341 千

版次 2008 年 9 月第 1 版

印次 2008 年 9 月第 1 次

印数 1-2 000

定价 26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

“电工基础”课程是自动化类、机电类专业的一门重要的专业基础课。为适应电子技术和电路理论的迅速发展,在教学实施中,我们对教材内容不断地进行调整、提炼和更新,逐渐形成了一定的教学特色,本书也正是在此基础上编写而成的。

在编写过程中,结合我校国家示范性高等职业院校建设对自动化专业改革的要求和2007年、2008年分别在天津、北京召开的教育部高职高专自动化类教学指导委员会教学改革研讨会的会议精神,以及多年的教学实践,充分考虑各高等职业院校从不同层次、不同专业对电工基础课程的教学需要,注意贯彻理论联系实际、循序渐进和少而精的原则,在阐明物理概念和基本定律的前提下,略去某些不必要的证明,使其具有通俗精练、应用性强的突出特点。

本书通过精选内容,以有限的篇幅取得较大的覆盖面,力求叙述严谨、通俗精练、言简意明。在内容的选用与编排上基于以下几点考虑。

1. “电工基础”作为电学的基础课程,要求教材对电学的基础理论,包括基本概念、元件、定律、方法等做详细介绍,因此本书涉及的面比较宽,从直流到交流,从稳态到暂态。我们从不同角度、不同侧面组织材料,针对高职学生特点使本书做到知识面广而不杂,脉络清晰。

2. 本书注重与高中阶段的教学改革和课程间的衔接,尽量从学生熟悉的基本理论和物理概念导出电路定律。对电路的基本理论和电路分析的基本方法的阐述力求准确简明、重点突出。

3. 把握高职教学特色,编写过程中尽可能避开抽象的理论推导,而注重强调各元件的外特性以及在电学中的应用,使学生既能学会分析电路的方法,又不会被其复杂的理论推导所困扰,充分突出实用性,体现国家示范性高等职业院校的办学特色。

4. 本书采用国际单位制和工程技术上仍在使用的单位。

5. 为帮助学生进一步理解课程内容,本书每章后都有学习指导、小结和习题。

本书由天津职业大学组织编写,第1、4、6章由王丽华编写,第2、7、8章由石梅香编写,第3、5章由董春霞编写,第9章由张永飞编写。全书由张永飞统稿。

天津大学出版社和教育部高职高专自动化类教学指导委员会专家组对编写大纲进行了仔细审查,提出了宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限,书中难免存在一些问题,衷心希望读者批评指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念	(1)
1.1 电路的基础知识	(1)
1.2 基尔霍夫定律	(15)
1.3 电阻的串联和并联	(18)
1.4 电路的等效变换	(21)
1.5 电路图论的概念	(32)
1.6 支路电流法	(35)
1.7 网孔电流法	(38)
1.8 回路电流法	(41)
1.9 节点电压法	(46)
学习指导	(52)
小结	(54)
习题	(57)
第 2 章 电路的基本定理	(66)
2.1 叠加定理	(66)
2.2 替代定理	(69)
2.3 戴维南定理和诺顿定理	(71)
2.4 特勒根定理	(77)
2.5 互易定理	(79)
2.6 对偶原理	(82)
学习指导	(82)
小结	(83)
习题	(84)
第 3 章 正弦交流电路	(88)
3.1 正弦交流电的基本概念	(88)
3.2 正弦量的相量表示法	(91)
3.3 单一参数的交流电路	(96)
3.4 RLC 串联电路	(104)
3.5 RLC 并联电路	(107)
3.6 阻抗的串、并联电路	(109)
3.7 交流电路中的功率	(111)

3.8 功率因数	(113)
3.9 谐振电路	(116)
学习指导	(123)
小结	(123)
习题	(123)
第4章 三相交流电路	(126)
4.1 三相电源	(126)
4.2 三相负载	(130)
4.3 三相电路的功率	(132)
4.4 不对称三相电路的分析	(140)
学习指导	(141)
小结	(145)
习题	(147)
第5章 非正弦交流电及谐波分析	(151)
5.1 非正弦周期信号	(151)
5.2 周期信号的分解	(152)
5.3 有效值、平均值和平均功率	(154)
5.4 非正弦周期信号线性电路的计算	(157)
学习指导	(160)
小结	(161)
习题	(161)
第6章 线性电路的暂态分析	(162)
6.1 换路定律及初始值的确定	(162)
6.2 RC 电路的暂态分析	(166)
6.3 RL 电路的暂态分析	(170)
6.4 分析一阶电路暂态过程的三要素法	(173)
学习指导	(179)
小结	(181)
习题	(183)
第7章 拉普拉斯变换	(187)
7.1 拉普拉斯变换的定义	(187)
7.2 拉普拉斯变换的基本性质	(188)
7.3 拉普拉斯反变换	(190)
7.4 运算电路	(194)
7.5 运用拉普拉斯变换法分析线性电路	(198)
学习指导	(200)

小结.....	(201)
习题.....	(202)
第 8 章 非线性电路简介	(204)
8.1 非线性电阻	(204)
8.2 非线性电容	(205)
8.3 非线性电感	(206)
8.4 非线性电路的方程	(207)
8.5 小信号分析法	(211)
8.6 分段线性化方法	(214)
8.7 非线性振荡电路	(217)
8.8 混沌电路简介	(219)
8.9 人工神经元电路	(221)
学习指导	(222)
小结.....	(223)
习题.....	(223)
第 9 章 磁路和铁芯线圈.....	(225)
9.1 磁场和磁路	(225)
9.2 铁磁物质的磁化曲线	(228)
9.3 磁路的基本定律	(229)
9.4 恒定磁通磁路的计算	(230)
9.5 交变磁通磁路简介	(234)
9.6 铁芯线圈	(235)
学习指导.....	(239)
小结.....	(242)
习题.....	(242)
参考文献.....	(244)

第 1 章 电路的基本概念

电在工农业生产、科学研究和日常生活等各方面的应用十分广泛,有的利用电能变换为其他能量(例如机械能)使生产设备运转,有的利用电信号进行通信或实现自动控制。无论是输送电能还是传递电信号,一般总要构成这样或那样的电路,因此学习电工技术和电子技术都要从掌握电路理论入手。电路基本理论是电工学课程的基础。

本章主要结合直流电路介绍一般电路(包括交流电路)所遵循的基本规律和有关的电路基本知识。电路遵循的基本规律包含着相对独立的两个方面的内容:一是组成电路的各个元件的特性;二是整个电路中各个元件相互之间必须服从的关系。前者决定于元件内部遵循的电磁学定律,由元件端电压和流过元件的电流之间的数学关系来描述,在本章只介绍直流电源和电阻元件的特性;后者遵循基尔霍夫电流和电压定律,在本章介绍该定律的一般数学表达式、应用该定律分析计算电路的基本方法。

1.1 电路的基础知识

1.1.1 电路组成

电路是由一些电工设备或电子元器件组成的整体,它提供了电流流过的通路。若工作时其中电流的大小和方向不随时间变化,就称其为直流电路。

图 1.1 所示是蓄电池对白炽灯供电的电路。蓄电池是电源,它提供电能(由化学能变换来的);白炽灯是负载,它消耗电能(变换为热能和光能)。它们由两根导线连接成闭合电路。工作时,电流(习惯上指正电荷的流动,实际在导线中是电子沿相反方向的流动)从电源的正极流出,经过负载,流回到电源的负极,电流的方向固定,数值基本不变。这类电路的作用主要是以较高的效率传输电能和分配电能(有多个负载时)。



图 1.1 蓄电池对白炽灯供电电路

图 1.2 所示是用热电偶测量温度的电路,左边的热电偶虽然能将热能变换为电能,但数量很微小,不能作为电源,而所生温差电动势可以作为反映热端温度的信号,因此是一种信号源;右边的毫伏表是接收信号的负载,它能指示温差电动势,从而间

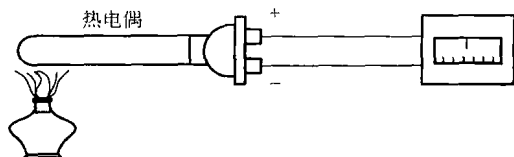


图 1.2 热电偶测温电路

接指示热电偶所测量的温度。这类电路的作用主要是尽可能准确地传递信号和处理信号(例如数字式测温仪还要有电子电路将微弱信号放大并转换成数字信号进行显示)。

上面是两个实际电路的举例。随着电工技术的发展,电路的形式和功能是多种多样的,有的还十分复杂,例如直流或交流的供电系统、各种电子检测仪器的内部电路。但总的来说,电路的组成一般包括电源(或信号源)、负载和连接电源与负载的中间环节(最简单的就是连接它们的两根导线)三部分。

1) 电源

电源是电路中电能的来源,是把非电能转化为电能的装置。从能量的转换形式来看,蓄电池、干电池将化学能转换为电能,水力发电机将机械能转换为电能,它们都是电源。

2) 负载

负载即用电设备,它是利用电能工作的装置。其作用是将电能转换为其他形式的能量,为人们所利用。例如,电动机把电能转换为机械能,电炉把电能转换为热能,电灯把电能转换为光能,它们都是负载。

3) 中间环节

中间环节指电路中除电源和负载以外的其他部分,例如连接导线、开关、测量器件、控制器件、保护器件等。中间环节起传递、分配和控制电能的作用。

在电路中,常把负载和中间环节组成的电路称为外电路,而把电源内部的电流通路称为内电路。

电路就其输送、转换和控制能量的规模大小和使用目的的不同,其作用大致可以分为下述两个方面。

一方面是电能的输送和变换。解决这方面的问题就是通常所说的电力工程,也称为强电。它包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明,以及交直流电之间的整流和逆变等。

另一方面是信号的传递和处理。通过电路把施加的信号变换或“加工”成为其他所需要的输出,最常见的如收音机和电视机的接收电路。在这一类电路中,把施加信号的部分称为信号源,而把接收电路也称为负载。

在电能的输送和变换,或者信号的传递和处理过程中,电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;而由激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。电路分析就是在已知电路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 电路的基本物理量

电路分析中常用到电流、电压、电动势、电位、电功率和电能等物理量,下面对这些物理量以及与它们有关的概念进行简要说明。

1. 电流及其参考方向

带电粒子的定向运动形成了电流。电流的量值(大小)等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量,用符号 i 表示,即

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

式中, dq 为在 dt 时间内通过导体截面的电荷量。

国际单位制(SI)中,电荷量的单位为库仑(C);时间单位为秒(s);电流单位为安培,简称安(A),有时还用千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等单位。

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

习惯上将正电荷的移动方向规定为电流的正方向。

当电流的量值和方向都不随时间变化,即 dq/dt 为定值时,这种电流称为直流电流,简称直流(DC)。直流电流常用英文大写字母 I 表示。对于直流,式(1.1)可写成

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中, q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

量值和方向随着时间周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。在复杂电路的分析中,电路中电流的实际方向很难预先判断出来;有时,电流的实际方向还会不断改变。因此,很难在电路中标明电流的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向,并用箭头表示在电路图上。规定了参考方向以后,电流就是一个代数量了,若电流的实际方向与参考方向一致(如图 1.3(a)所示),则电流为正值;若两者相反(如图 1.3(b)所示),则电流为负值。这样,就可以利用电流的参考方向和正、负值来判断电流的实际方向。应当注意,在未规定参考方向的情况下,电流的正、负号是没有意义的。

电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外,还可用双下标表示,如对某一电流,用 i_{AB} 表示其参考方向为由 A 指向 B(如图 1.3(c)所示),用 i_{BA} 表示其参考方向为由 B 指向 A(如图 1.3(d)所示)。显然,两者相差一个负号,即

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

2. 电压及其参考方向

当导体中存在电场时,电荷在电场力的作用下运动,电场力对运动电荷做功,运动电荷的电能将减少,电能转化为其他形式的能量。电路中 A、B 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,即

$$u_{AB} = \frac{dw_{AB}}{dq} \quad (1.3)$$

式中, $d\omega_{AB}$ 表示电场力将 dq 的正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 单位为焦耳(J); 电压单位为伏特, 简称伏(V), 有时还用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等单位。

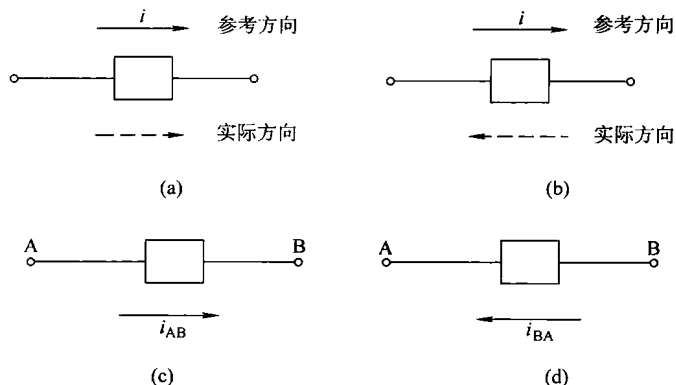


图 1.3 电流的参考方向

直流时, 式(1.3)应写为

$$u_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1.4)$$

由电压的定义可见, 如果正电荷从 A 点移动到 B 点是电场力做功, 那么正电荷从 B 点移到 A 点必定有一种外力在克服电场力做功, 或者说电场力做了负功, 即 $d\omega_{AB} = -d\omega_{BA}$, 则 $u_{AB} = -u_{BA}$ 。这说明, 对两点间的电压必须分清起点和终点, 也就是说, 电压也是有方向的, 电压的方向是电场力移动正电荷的方向。

电压的参考方向通常用三种方式表示。

(1) 采用正(+)、负(-)极性表示, 称为参考极性, 如图 1.4 (a) 所示。这时, 从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

(2) 采用实线箭头表示, 如图 1.4 (b) 所示。

(3) 采用双下标表示, 如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

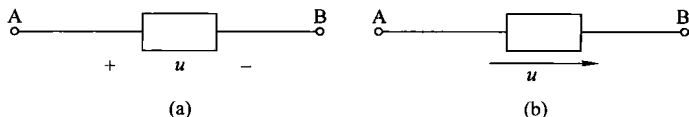


图 1.4 电压的参考方向

分析电路时, 首先应该规定各电流、电压的参考方向, 然后根据所规定的参考方向列写电路方程。不论电流、电压是直流还是交流, 它们均是根据参考方向写出的。参考方向可以任意规定, 不会影响计算结果, 因为参考方向相反时, 解出的电流、电压值也要改变正、负号, 最后得到的实际结果仍然相同。

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地规定。但为了分析方便,常使同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致,即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。这时,该元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的,称为关联参考方向(如图 1.5 所示)。

3. 电位

分析电路时常用到电位这一物理量。在电路任选一点作为参考点,则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说,如果参考点为 O,则 A 点的电位为

$$U_A = U_{AO}$$

如果已知 A、B 两点的电位各为 V_A 、 V_B ,则此两点间的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1.5)$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差,所以电压又叫电位差。

参考点选择不同,同一点的电位就不同,但电压与参考点的选择无关。在一个电路系统中只能选择一个参考点,至于如何选择参考点,则要视分析计算问题的方便而定。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点,常用符号“ $\perp$ ”表示。

4. 电功率和电能

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率叫电功率,简称功率,用 p 或 P 表示。习惯上,把发出或接收电能说成发出或接收功率。

下面分析任一支路的功率关系。当支路电流、电压实际方向一致时,因为电流的方向是正电荷运动的方向,而正电荷沿电压方向移动时能量减少,所以这时该支路接收功率。当支路电流、电压实际方向相反时,该支路发出功率。又因

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad u = \frac{dw}{dq}$$

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

所以转换能量的速率,即功率为

$$p = ui \quad (1.6)$$

即任一支路的功率等于其电压与电流的乘积。

用式(1.6)计算功率时,如果电流、电压选用关联参考方向,则所得的 p 应看成支路接收的功率,即计算所得功率为正值时,表示支路实际接收功率;计算所得功率为负值时,表示支路实际发出功率。

同样,如果电流、电压选择非关联参考方向,则按式(1.6)所得的 p 应看成支路发出的功率,即计算所得功率为正值时,表示支路实际发出功率;计算所得功率为负值时,表示支路实际接收功率。

在直流情况下,式(1.6)可表示为

$$P = UI$$

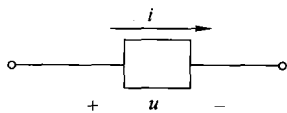


图 1.5 电流和电压的
关联参考方向

国际单位制(SI)中,功率的单位为瓦特,简称瓦,符号为 W, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。常用的功率的十进制倍数和分数单位有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。

根据式(1.6),从 t_0 到 t 时间段内,电路吸收(消耗)的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1.7)$$

直流时,有

$$W = P(t - t_0)$$

电能的国际制单位是焦耳,简称焦,符号为 J,它等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内所消耗的电能。在实际生活中还采用千瓦时(kW·h)作为电能的单位,它等于功率为 1 kW 的用电设备在 1 h(3 600 s)内所消耗的电能,俗称为 1 度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3\,600 = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

能量转换与守恒定律是自然界的基本规律之一,电路当然也遵守这一规律。一个电路中,每一瞬间,接收电能的各元件功率的总和等于发出电能的各元件功率的总和;或者说,所有元件接收的功率的代数和为零。这个结论叫做“电路的功率平衡”。

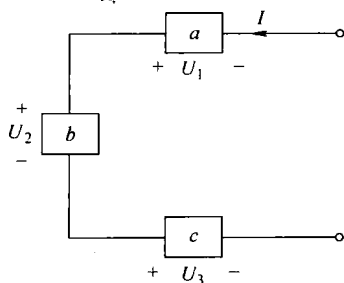


图 1.6 例 1.1 电路图

例 1.1 图 1.6 为某电路中的一部分,三个元件中流过相同电流 $I = -2 \text{ A}$, $U_1 = 2 \text{ V}$ 。(1)求元件 a 的功率 P_1 ,并注明是吸收还是发出功率;(2)若已知元件 b 发出功率 10 W,元件 c 吸收功率为 12 W,求 U_2 、 U_3 。

解:(1)对于元件 a ,电压与电流是非关联参考方向,此时,计算功率的公式应为

$$P_1 = -U_1 I$$

代入数据得

$$P_1 = (-2) \text{ V} \times (-2) \text{ A} = 4 \text{ W (吸收功率)}$$

(2)元件 b 的电压 U_2 与电流 I 是关联参考方向,且发出功率,则 P_2 为负值,即

$$U_2 I = -10 \text{ W}$$

$$U_2 = \frac{-10}{-2} \text{ V} = 5 \text{ V}$$

同理,元件 c 有关系式

$$U_3 I = 12 \text{ W}$$

$$U_3 = \frac{12}{-2} \text{ V} = -6 \text{ V}$$

1.1.3 电路元件和电路模型

实际的电路元件在工作时的电磁性质是比较复杂的,绝大多数元件具备多种电磁效应,给分析问题带来困难。为了使问题得以简化,以便于探讨电路的普遍规律,在分析和研究具体电路时,对实际的电路元件,一般取其起主要作用的方面并用一些

理想电路元件来替代。所谓理想电路元件是指在理论上具有某种确定的电磁性质的假想元件,它们以及它们的组合可以反映出实际电器元件的电磁性质和实际电路的电磁现象。这是因为,实际电路元件虽然种类繁多,但在电磁性能方面可把它们归类。例如,有的元件主要是供给能量的,它们能将非电能转换成电能,如干电池、发电机等就可用“电压源”这样一个理想元件来表示;又如有的元件主要是消耗电能的,当电流通过它们时就把电能转换成为其他形式的能,如各种电炉、白炽灯等就可用“电阻元件”这样一个理想元件来表示;另外,还有的元件主要是储存磁场能量或储存电场能量的,就可用“电感元件”或“电容元件”来表示等等。

由理想元件构成的电路称为实际电路的“电路模型”。图 1.1 所示的实际电路,可把灯泡看成是电阻元件,用 R 表示;考虑到电池内部自身消耗电能,可把蓄电池看成是电阻元件 R_s 和电压源 U_s 串联;连接导线可看成理想导线(其电阻为 0)。这样图 1.1 的实际电路就可以用电路模型来表示,如图 1.7 所示。

下面具体介绍各个电路元件及其特性。

1. 电阻元件

电阻元件是反映电路元件消耗电能这一物理性能的一种理想元件。它有两个端钮与外电路相连接,这样的元件以后都称其为二端元件。

在讨论各种理想元件的性能时,重要的是要确定其端电压与电流之间的关系,这种关系称为元件约束,简称 VCR。欧姆定律反映了任一时刻电阻元件的这种约束关系。在电压与电流的关联参考方向下,欧姆定律表达式为

$$u = iR \quad (1.8)$$

式中, R 为电阻元件的电阻值,SI 单位为欧(Ω),常用单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。

若电阻 R 值与其工作电压或电流无关,是一个常数,那么这样的电阻元件称为线性电阻元件。线性电阻元件在电路中的符号如图 1.8(a)所示。在 $u-i$ 坐标平面上画出电阻元件的电压与电流的关系曲线称为该元件的伏安特性曲线,简称伏安特性。线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线,如图 1.8(b)所示。

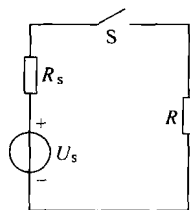
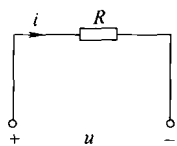
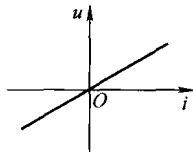


图 1.7 电路模型



(a)



(b)

图 1.8 线性电阻元件及其伏安特性

(a)线性电阻元件符号 (b)线性电阻的伏安特性

应用欧姆定律时要注意电压和电流的参考方向,在电阻元件的电压及电流参考方向选择的_{不一致}时,欧姆定律应表示成

$$u = -iR \quad (1.9)$$

电阻 R 的倒数称为电导,用 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.10)$$

电导的单位为西门子(S)。

同一个电阻元件,既可以用电阻 R 表示,也可以用电导 G 表示。引入电导后,欧姆定律可以表达为

$$i = uG \quad (1.11)$$

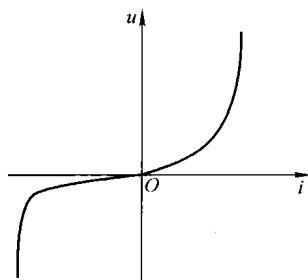


图 1.9 非线性电阻元件的伏安特性

如果电阻元件的电阻值不是一个常数,也就是说,它的数值会随着其工作电压或电流的变化而变化,那么这样的电阻元件称为非线性电阻元件,它的伏安特性就不再是一条通过原点的直线。图 1.9 所示是某二极管的伏安特性曲线,二极管是非线性电阻元件。在后面的叙述中,若无特殊说明,一般所说的电阻元件均指线性电阻元件,并简称为电阻。

图 1.8(b)的伏安特性说明,在关联参考方向下,电阻元件上的电压和电流值总是同号的,故其功率总是正值,即总是在消耗功率,所以,电阻元件是耗能元件。

将式(1.8)代入(1.6),可得到计算电阻元件功率的另两个公式为

$$p = i^2 R \quad (1.12)$$

$$p = \frac{u^2}{R} \quad (1.13)$$

在应用以上两式时要注意, i 必须是流过电阻 R 的电流, u 必须是电阻 R 两端的电压。

2. 电感元件

电感元件是实际电路中储存磁场能量这一物理性质的科学抽象,凡是电流及其磁场存在的场合总可以用电感元件来加以描述。

1) 电感元件的基本概念

线圈中通以电流 i 后将产生磁通 Φ ,若磁通 Φ 与线圈的 N 匝都交链,则磁链 $\Psi = N\Phi$ 。一个二端元件,如果在任意时刻,通过它的电流 i 与其磁链 Ψ 之间的关系可用 $\Psi-i$ 平面(或 $I-\Psi$ 平面)上的曲线所确定,就称其为电感元件,简称电感。其电路模型如图 1.10(a)所示。

电感元件也分为时变的和时不变的,线性的和非线性的。本书只讨论线性时不

变的电感元件。线性时不变的电感元件的外特性(韦安特性)是 $\Psi-i$ 平面上一条通过原点的直线,如图 1.10(b)所示,当规定磁通 Φ 和磁链 Ψ 的参考方向与电流 i 的参考方向之间符合右手螺旋定则时,在任意时刻,磁链与电流的关系为

$$\Psi(t) = Li(t)$$

式中, L 称为元件的电感。在 SI 中,电感的单位为亨利,简称亨,其 SI 符号为 H。

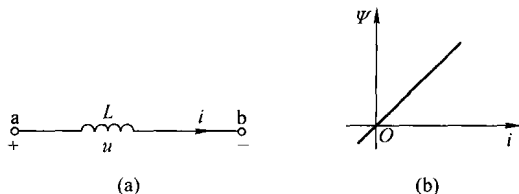


图 1.10 线性时不变电感元件

(a) 电感电路模型 (b) 线性时不变电感元件的外特性曲线

一般情况下,“电感”一词及其符号 L 既表示电感元件也表示元件的参数。

2) 电感元件的 $u-i$ 关系

当磁链 Ψ 随时间变化时,在线圈的两端将产生感应电压。如果感应电压的参考方向与磁链满足右手螺旋定则(如图 1.11 所示),则根据电磁感应定律,有

$$u = \frac{d\Psi}{dt} \quad (1.14)$$

若电感上电流的参考方向与磁链满足右手螺旋定则,则 $\Psi = Li$,代入上式得

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1.15)$$

式(1.15)称为电感元件的电压与电流约束关系(VCR)。由于电压和电流的参考方向与磁链都满足右手螺旋定则,因此电压和电流为关联参考方向。

若电感上电压 u 与电流 i 为非关联参考方向,则

$$u = -L \frac{di}{dt} \quad (1.16)$$

由式(1.16)可知,当电流为直流稳态电流时, $di/dt = 0$,故 $u = 0$,说明电感在直流稳态电路中相当于短路,有通直流的作用。

3) 电感元件的储能

在电压和电流的关联参考方向下,线性电感元件吸收的功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1.17)$$

从 $-\infty$ 到 t 的时间段内电感吸收的磁场能量为

$$W_L = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t Li \frac{di}{dt} dt = \frac{1}{2} Li^2(t) - \frac{1}{2} Li^2(-\infty) \quad (1.18)$$

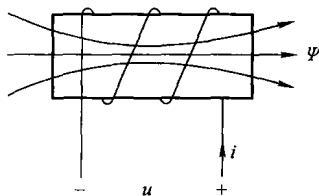


图 1.11 电感元件电压与电流的关系