



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
(五年制) 高等职业教育电子信息类教学用书

21世纪高职高专系列规划教材

电路基础

主 编 朱晓萍 王洪彩

副主编 朱光灿



北京师范大学出版社

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
21世纪高职高专系列规划教材

电路基础

主 编 朱晓萍 王洪彩

副主编 朱光灿



北京师范大学出版社

内容简介

本书系统地介绍了电路理论的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共9章,主要内容有:电路的基本概念和基本定律、线性电阻电路、电路定理、正弦电流电路、耦合电感和谐振电路、三相电路、非正弦周期电流电路、二端口网络和动态电路的过渡过程时域分析。

本书系统完整,例题丰富,适应面较宽。适合于作电气、自动化、电子、计算机等类专业的普通高职高专电路基础课程教材,也可以供相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/朱晓萍,王洪彩主编. —北京:北京师范大学出版社, 2005.7

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 7-303-07607-7

I. 电… II. ①朱…②王… III. 电路理论—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 064527 号

北京师范大学出版社出版发行
(北京新街口外大街 19 号 邮政编码:100875)

<http://www.bnup.com.cn>

出版人:赖德胜

北京东方圣雅印刷有限公司印刷 全国新华书店经销
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16.75 字数:360千字

2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷

印数:1~3000 定价:21.00元

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序地发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业学校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理等四个专业领域为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等职业、高等职业文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入地研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。其特点如下:

1. 紧紧围绕教育改革,适应新的教学要求。教育部等六部委联合发文确定紧缺型人才培养战略,并明确提出了高等职业教育将从3年制逐渐向2年制过渡。过渡时期具有新的教学要求,这批教材是在教育部的指导下,针对过渡时期教学的特点,以2年制为基础,兼顾3年制,以“实用、够用”为度,淡化理论,注重实践,消减过时、用不上的知识,内容体系更趋合理。

2. 教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教

材,所出版的教材都配有电子教案,部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3.教材编写力求语言通俗简练,讲解深入浅出,使学生在理解的基础上学习,不囫圇吞枣,死记硬背。

4.教材配有大量的例题、习题、实训,通过例题讲解、习题练习、实验实训,加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5.反映行业新的发展,教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一,有着近20年的职业教育出版历史,具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材是针对2/3年制编写的,同时也向教育部申报了“2004—2007年职业教育教材开发编写规划”,部分教材通过教育部审核,被列入职业教育与成人教育司5年制高职推荐教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机等其他专业,以及工商管理、财会等方面教材,希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作,需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来,北京师范大学出版社职业与成人教育事业部全体人员也将备加努力,为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

参加教材编写的单位名单

(排名不分先后)

沈阳工程学院	常州轻工职业技术学院
山东劳动职业技术学院	河北工业职业技术学院
济宁职业技术学院	太原理工大学轻纺学院
辽宁省交通高等专科学校	浙江交通职业技术学院
浙江机电职业技术学院	保定职业技术学院
杭州职业技术学院	绵阳职业技术学院
西安科技大学电子信息学院	北岳职业技术学院
西安科技大学机械学院	天津职业大学
天津渤海职业技术学院	北京轻工职工职业技术学院
天津渤海集团公司教育中心	石家庄信息工程职业学院
连云港职业技术学院	襄樊职业技术学院
景德镇高等专科学校	九江职业技术学院
徐州工业职业技术学院	青岛远洋船员学院
广州大学科技贸易技术学院	无锡科技职业学院
江西信息应用职业技术学院	广东白云职业技术学院
浙江商业职业技术学院	三峡大学职业技术学院
内蒙古电子信息职业技术学院	西安欧亚学院实验中心
济源职业技术学院	天津机电职业技术学院
河南科技学院	漯河职业技术学院
苏州经贸职业技术学院	济南市高级技工学校
浙江工商职业技术学院	沈阳职业技术学院
温州大学	江西新余高等专科学校
四川工商职业技术学院	

前 言

本教材是根据教育部高教司组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的精神而编写的。全书内容有:电路的基本概念和基本定律、线性电阻电路、电路定理、正弦电流电路、耦合电感和谐振电路、三相电路、非正弦周期电流电路、二端口网络和动态电路的过渡过程时域分析等共9章。本书供普通高职高专院校的电气、自动化、电子、计算机等类专业或相关专业的技术人员使用。参考学时范围为90~120学时(含实践性环节)。

作者在编写本书过程中,考虑到高等职业教育是培养应用型人才和复合型人才,侧重于培养技术应用能力的目标,以掌握概念、强化应用为重点和“必须”、“够用”为度,从最基本、最实用的内容出发,精简那些偏深、偏难的理论内容,做到基本概念准确、内容精练、重点突出、注重理论联系实际,同时力求做到理论体系完整。为便于对基本概念、基本定律以及基本分析方法的理解和提高分析问题解决问题的能力,本书编入了较多的例题、习题,每章前有“本章要点”,每章后有“本章小结”,以便于读者学习。

本教材由沈阳工程学院的朱晓萍老师和山东劳动职业技术学院的王洪彩老师担任主编,杭州职业技术学院的朱光灿老师担任副主编。其中第1、2、3章由朱光灿老师编写,第5、6、7章由王洪彩老师编写,第4、8、9章由朱晓萍老师编写,全书由朱晓萍老师统稿。

本教材的出版得到了北京师范大学出版社的仇春兰、周光明等老师的大力支持,他们对提高本教材质量作出了贡献,在此表示诚挚的感谢。

本教材受编者学识水平的限制,难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.2 电路的主要物理量	(3)
1.3 电阻元件	(6)
1.4 理想电压源和理想电流源	(9)
1.5 受控源	(10)
1.6 基尔霍夫定律	(11)
本章小结	(14)
习题与思考题	(14)
第 2 章 线性电阻电路的分析计算	(18)
2.1 电路的等效变换	(18)
2.2 电阻的串联、并联和电阻的星形与三角形连接的等效变换	(20)
2.3 电压源、电流源模型及其等效变换	(27)
2.4 支路电流法	(31)
2.5 网孔电流法	(33)
2.6 节点电压法	(35)
2.7 含有受控源的简单电路的分析计算	(40)
本章小结	(43)
习题与思考题	(45)
第 3 章 电路定律	(48)
3.1 叠加定理	(48)
3.2 替代定理	(50)
3.3 戴维南定理和诺顿定理	(51)
本章小结	(57)
习题与思考题	(58)
第 4 章 正弦电流电路	(60)
4.1 正弦量	(60)
4.2 正弦量的相量表示法	(64)
4.3 相量形式的基尔霍夫定律	(68)
4.4 正弦电流电路中的电阻、电感和电容	(68)
4.5 电阻、电感、电容串联电路	(78)
4.6 电阻、电感、电容并联电路	(82)
4.7 复阻抗、复导纳及其等效变换	(85)
4.8 几种实际电气器件的电路模型	(88)
4.9 正弦电流电路中的功率	(91)
4.10 一般正弦电流电路的计算	(99)
本章小结	(107)
习题与思考题	(109)
第 5 章 耦合电感和谐振电路	(115)

5.1 耦合电感元件	(115)	习题与思考题	(176)
5.2 含有耦合电感的正弦电流电 路	(119)	第 8 章 二端口网络	(179)
5.3 空心变压器	(124)	8.1 端口条件及二端口网络	(179)
5.4 串联谐振电路	(126)	8.2 二端口网络的方程及其参数	(180)
5.5 并联谐振电路	(131)	8.3 二端口网络的等效电路	(191)
本章小结	(134)	8.4 二端口网络的级联 ...	(193)
习题与思考题	(136)	8.5 理想变压器	(196)
第 6 章 三相电路	(140)	本章小结	(198)
6.1 对称三相正弦量	(140)	习题与思考题	(199)
6.2 三相电源和三相负载的连接	(142)	第 9 章 动态电路过渡过程的时域分析	(203)
6.3 对称三相电路的计算	(146)	9.1 换路定律和初始值的计算 ...	(203)
6.4 不对称三相电路的分析及其 简单计算	(150)	9.2 一阶电路的零输入响应	(206)
6.5 三相电路的功率及其测量 ...	(153)	9.3 一阶电路的零状态响应	(213)
本章小结	(155)	9.4 一阶电路的全响应 ...	(220)
习题与思考题	(157)	9.5 一阶电路的阶跃响应	(229)
第 7 章 非正弦周期电流电路	(160)	9.6 二阶电路的零输入响应	(232)
7.1 非正弦周期量	(160)	本章小结	(240)
7.2 非正弦周期函数分解为傅里 叶级数	(161)	习题与思考题	(242)
7.3 非正弦周期电流的有效值、平 均值和平均功率	(166)	部分习题答案	(248)
7.4 非正弦周期电流电路的分析 计算	(169)	参考文献	(256)
本章小结	(175)		

第1章 电路的基本概念和基本定律

主要内容

1. 电路的基本组成、电路的主要物理量及参考方向的概念。
2. 讨论独立电源和受控源的基本性质。
3. 介绍电路分析中的重要定律: 欧姆定律和基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成

在日常生活和生产实践中,我们知道要用电,就离不开电路;如要用电灯照明、要使电动机转动等,都必须用导线将电源与用电设备连接起来,组成电路。电路是为了某种需要,由一些电气设备和电气器件按一定方式连接起来的电流通路。在电力系统、自动控制、计算机、通讯等技术领域中,人们广泛使用各种电路来完成多种多样的任务,不管电路形式有多么复杂,电路都是由一些最基本的部件组成的。如手电筒电路是一个最简单的电路,它的组成体现了所有电路的共性。手电筒电路如图 1.1(a) 所示,其原理电路图如图 1.1(b) 所示。

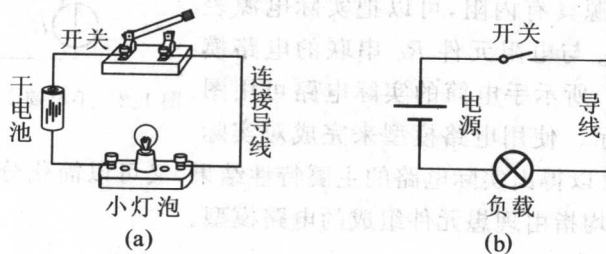


图 1.1 手电筒的实际电路及原理电路图

组成电路的基本部件是电源、负载和中间环节。各部件的作用如下:

(1) 电源: 电路中电能的来源, 如手电筒电路中的干电池。电源的作用是把非电能转换成电能。例如, 干电池将化学能转换成电能、发电机将机械能转换成电能。

(2) 负载: 电路中的用电设备, 如手电筒电路中的小灯泡。负载的作用是把电能转换成非电能。如电灯把电能转换为光能和热能, 电动机把电能转换为机械能等。

(3) 中间环节: 连接导线、控制开关等。它在电路中将电源和负载连接起来, 构成

电流通路,起传递和控制电能的作用。此外,中间环节还可以包括有关的保护电器(如熔断器)。

电源、负载、中间环节是组成电路的“三要素”。除了“电路”之外,我们还常遇到“网络”这个名词。由于比较复杂的电路呈网状,常把这种电路称为“网络”,网络较电路更为宽泛一些。实际上,电路与网络这两个名词无明显的区别,一般可以通用。

1.1.2 电路模型

实际电路是由多种实际器件组成的,这些实际器件的电磁性能往往不是单一的。如一个实际的电阻器,主要作用是对电流呈现阻力,而当电流通过时还会产生磁场;如日常使用的电池,就是要利用它的正、负极之间能保持一定电压的性质,但电池总有一定的内阻,工作时它还会消耗一些能量。因此,这个正、负极之间的一定电压是个理想值。如果把实际器件的各种电磁性能都加以考虑,就会给电路的分析与计算带来困难。

1. 理想元件

为了便于对实际电路进行分析计算,可以在一定的条件下对实际电气器件进行科学的抽象和概括,忽略它的次要性质,用一种表征其主要电磁性能的理想元件来表示。例如,实际电阻器(如灯泡)忽略微小电感时,可看成一个理想电阻元件;如电池在忽略内阻后,可看成电压恒定的理想电压源。理想电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性能和精确的数学定义。理想电路元件简称为电路元件,如电阻元件、电感元件、电容元件等。各电路元件可用规定的符号表示。

2. 电路模型

任何一个实际电路都可以用一些理想电路元件的组合来模拟,这样得到的电路称为实际电路的电路模型。如实际电源具有内阻,可以把实际电源表示为理想电压源 U_S 与电阻元件 R_0 串联的电路模型。例如,图 1.1(a)所示手电筒的实际电路可用图 1.2 的电路模型表示。使用电路模型来完成对实际电路的分析计算,可以得出实际电路的主要特性结果,又可以简化分析过程。今后我们所说的电路一般均指由理想元件组成的电路模型。

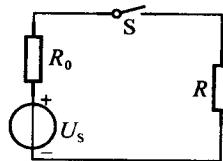


图 1.2 手电筒实际电路的电路模型

1.1.3 电路分类

电路可分为集中参数电路和分布参数电路。集中参数电路指电路的工作频率所对应的波长比电路的几何尺寸大得多,分析电路时可忽略电路及其元件的尺寸,如工频 50Hz 对应的波长为 6000 km。在工频情况下,多数电路为集中参数电路。分布参数电路为电路的几何尺寸相对于工作波长不可忽略的电路。

本书只讨论集中参数电路及其有关定律和分析计算。

1.2 电路的主要物理量

电路中的物理量有电荷、电流、电压、电位、磁链、功率、能量等。本节主要讨论电路的几个基本物理量:电流、电压、功率等。

1.2.1 电流

1. 电流的大小

在电场力作用下,电荷的定向移动形成电流。电流的大小,用电流强度来表示,其定义为:单位时间内流过导体横截面的电量。电流强度简称电流。如果电流是随时间变化的,可用微变量表示,即在 dt 时间内通过导体横截面的电量为 dq ,则电流的瞬时值为

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

如果电流的大小和方向都不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流,其电流用大写字母 I 表示,为

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

式中, dq 或 Q 为通过导体横截面的电量,在国际单位制(SI)中,其单位为库仑(C)。 dt 或 t 为时间,SI单位为秒(s)。

电流的SI单位是安培,简称安(A)。其含义是:如果1秒(s)内通过导体横截面的电量为1库仑(C)时,电流为1安(A)。

电流的其他单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),它们的关系是

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

2. 电流的实际方向和参考方向

(1)电流的实际方向:人们规定正电荷的运动方向为电流的实际方向。

(2)电流的参考方向。在分析复杂电路时,很难用电流的实际方向进行分析计算。原因有:①在分析计算之前难以确定复杂电路中支路电流的实际方向;②当电流为交流量时,电流的实际方向是随时间不断变化的。解决的办法是引入参考方向的概念。由于在电路的一条支路中,实际电流只有两种可能的方向,可以任意假定一个方向作为该支路电流的参考方向,用箭头表示在电路图上。当电流的实际方向与参考方向一致时,电流为正值;当两者相反时,则电流为负值。在标定电流参考方向的前提下,根据电路基本定律计算电流,如果所得电流为正值,则说明电流的实际方向与参考方向一致;如果电流为负值,则电流的实际方向与参考方向相反。所以通过参考方向可以确定电流的实际方向。图1.3(a)、(b)为参考方向与实际方向的关系,其中实线箭头表示选定的参考方向,虚线箭头表示该电路中电流的实际方向。图1.3(a)中电流实际方向与参考方向一致, $i > 0$;图1.3(b)中两者方向相反, $i < 0$ 。

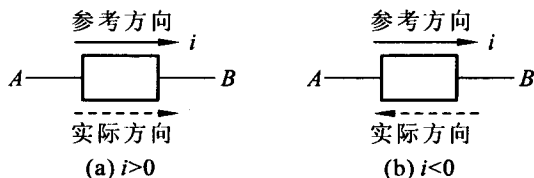


图 1.3 电流实际方向与参考方向的关系

电流的参考方向除用箭头表示外,还可以用双下标表示,如图 1.3 中的电流,用 i_{AB} 表示其参考方向由 A 指向 B,用 i_{BA} 表示其参考方向由 B 指向 A。显然,两者相差一个负号,即

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

参考方向是分析计算电路时的重要概念。如果没有预先选定参考方向,电流计算值的正、负是没有意义的。本书电路中所表示的电流方向一般均为参考方向。

1.2.2 电压和电位

1. 电压

电压的定义:电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。 a 、 b 两点间的电压为

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

式中, dq 为由 a 点移到 b 点的电量,SI 单位为库仑(C); dw 为移动过程中,电荷 dq 减少的能量,SI 单位为焦耳(J),电压 SI 单位为伏特(V)。电压的其他单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V),它们的关系为:

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

2. 电位

在电路中可取任一点为参考点,如选择 0 点为参考点,则由某点 a 到参考点 0 的电压 u_{a0} ,称为 a 点的电位,用 V_a 表示。电位参考点可以任意选取,一般选择大地、设备外壳或接地点作为参考点并规定参考点电位为零。在一个电路中,一旦参考点确定后,电路中其余各点的电位也就确定了。电位的 SI 单位也是伏特。

电压与电位的关系为: a 、 b 两点之间的电压等于 a 、 b 两点之间的电位差,即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

由式(1-4)可知,如果 $u_{ab} > 0$,当 $dq > 0$ 时 $dw > 0$,电场力做正功,电荷减少能量。所以正电荷由 a 点移到 b 点,即减少能量,则 a 点为高电位, b 点为低电位;反之,如果增加或获得能量,则 a 点为低电位, b 点为高电位。正电荷在电路中移动时,电能的增或减反映电位的升高或降低,即电压升或电压降。

3. 电压的实际方向与参考方向

(1)电压的实际方向:在一段电路上,电压的实际方向是由高电位指向低电位,即电压降的方向。正电荷沿着这个方向移动,将减少能量,并转换为其他形式的能量。

(2) 电压的参考方向。由于在分析计算复杂电路之前,很难事先知道一段电路的实际方向。对于交流电路,实际电压的方向是随时间不断变化的,因此有必要引入电压参考方向的概念。

在一段电路中,电压的参考方向可以任意设定,即从假定的高电位指向假定的低电位。当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值;两者相反时,电压为负值。电压的参考方向可以用三种方法表示:

- ①用“+”、“-”符号分别表示假定的高电位点和低电位点。
- ②用箭头表示,由假定的高电位点指向低电位点。
- ③用双下标字母表示。如 U_{ab} 表示电压参考方向从 a 点指向 b 点。

这三种方法都可以表示电压的参考方向,使用时可任选一种。图 1.4 为用“+”、“-”符号表示的电压参考方向。设定一段电路的电压参考方向后,可以根据电压的正、负值,确定这一段电路的电压实际方向。

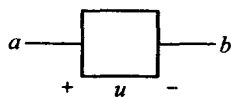


图 1.4 电压参考方向

4. 电压、电流的关联参考方向

电压参考方向的选取是任意的,与电流的参考方向无关。但为了分析、研究方便,常采用关联参考方向,即在一段电路中,电流的参考方向是从电压参考方向的“+”极流向“-”极,也就是电流的参考方向与电压的参考方向一致。如图 1.5 所示为电压、电流的关联参考方向。

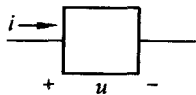


图 1.5 关联参考方向

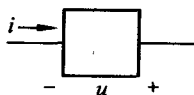


图 1.6 非关联参考方向

在一段电路中,当电流的参考方向是从电压参考方向的“-”极流向“+”极,或电压、电流参考方向相反时,称为非关联参考方向,如图 1.6 所示。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

电功率是指单位时间内电场力所做的功,简称功率。从电压定义式可知,正电荷 dq 在电场力作用下,从高电位点 a 移动到低电位点 b 时,电场力做功 $dw = u dq$ 。因电流 $i = \frac{dq}{dt}$,所以此过程中,电路吸收的功率为

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$$

上式说明,当电流、电压取关联参考方向时,电路吸收的功率为 u 与 i 两者的乘积。所以实际电路进行功率计算时,当电流、电压取关联参考方向,则功率为

$$p = ui$$

直流时写成

$$P = UI$$

(1-5)

当电流、电压取非关联参考方向时,则功率为

$$p = -ui$$

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

直流时写成

在用式(1-5)、式(1-6)计算时,若计算结果 $p > 0$ 表示该元件吸收(或消耗)功率;若 $p < 0$ 表示该元件提供(或产生)功率。

这里要注意的是:公式 $p = ui$ 或 $p = -ui$ 中的 u 、 i 相对于各自的参考方向而言可正可负,而公式本身有正、负号,两套符号不能混淆。

在 SI 制中,功率的单位是瓦特,简称瓦(W), $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$,其他常用单位有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等,它们之间的关系为

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

2. 电能

能量是功率对时间的积分,在 t_0 到 t 时间内电路吸收的电能为

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1-7)$$

直流时为

$$W = P(t - t_0) \quad (1-8)$$

电能的 SI 单位为焦耳(J),1 J 等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内消耗的电能。电能的其他常用单位还有千瓦时(kWh),1 kWh 俗称 1 度电。1 度电可以这样理解:额定功率为 1 kW 的用电设备,正常工作 1 小时所消耗的电能。

例 1.1 如图 1.7 所示电路,已知电压 $U = 10 \text{ V}$,电流 $I = 2 \text{ A}$,求理想电压源 U_S 和电阻 R 的功率。

解:对于理想电压源来说,电压 U_S 与电流 I 为非关联参考方向,所以由式(1-6),可得理想电压源的功率为

$$P_S = -U_S \cdot I = -10 \times 2 \text{ W} = -20 \text{ W}$$

功率 $P_S < 0$,说明理想电压源提供功率 20 W。对于电阻元件来说,其电压 U 与电流 I 为关联参考方向,所以由式(1-5),可得电阻的功率为

$$P = U \cdot I = 10 \times 2 \text{ W} = 20 \text{ W}$$

功率 $P > 0$,说明电阻吸收功率 20 W。

对于一个完整的电路,各元件吸收的功率之和与提供的功率之和总是相等的,称为功率平衡。

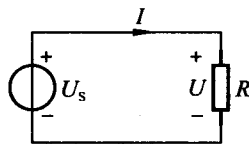


图 1.7 例 1.1 电路

1.3 电阻元件

1.3.1 电阻元件

电阻元件是最常见的电路元件,日常生活中使用的钨丝灯泡、电子产品中常用的

贴片电阻等一般都可看做是电阻元件。在某些特定场合,电阻还有特定的用途,如人们利用某些材料的电阻值随温度变化或随应力变化的特性,通过测量电阻值来测量温度或力。习惯上,人们常把电阻元件就称为电阻,用 R 表示,它反映导体对电流的阻碍作用。电阻的图形符号如图 1.8(a) 所示。电阻有二个端钮,称为二端元件,如果加在电阻两端的电压或通过电阻中的电流发生变化时,电阻的阻值恒定不变,则称该电阻为线性电阻。如果把电阻的电流取为横坐标(或纵坐标),把其两端的电压取为纵坐标(或横坐标),改变电流或电压值可以绘出 i - u 平面上的曲线,该曲线称为电阻的伏安特性曲线。对于线性电阻,伏安特性曲线为通过坐标原点的直线,如图 1.8(b) 所示。对于非线性电阻,伏安特性曲线不是直线。如图 1.8(c) 所示为非线性电阻(二极管)的伏安特性曲线。如无特殊说明,本书中的电阻元件均指线性电阻。只含有线性元件的电路称为线性电路。

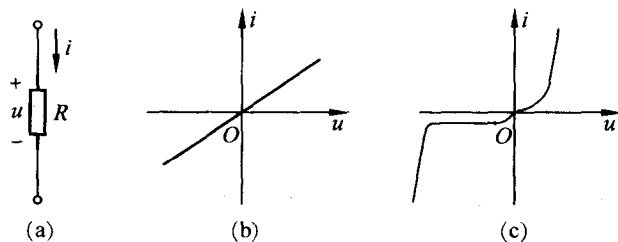


图 1.8 电阻元件

电阻的 SI 单位是欧姆(Ω),当电阻元件两端电压为 1 V,通过的电流为 1 A 时,其电阻值是 1 Ω 。电阻的其他单位有千欧(k Ω)和兆欧(M Ω),它们之间的关系为

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

1.3.2 欧姆定律

电阻元件两端的电压 u 与通过它的电流 i 成正比,这就是欧姆定律。在关联参考方向下,欧姆定律表达式为

$$u = Ri$$

直流时

$$U = RI \quad (1-9)$$

电阻的倒数称为电导,用符号 G 表示,即

$$G = \frac{1}{R}$$

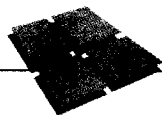
在 SI 单位制中,电导的单位是西门子,简称西(S)。欧姆定律在关联参考方向下也可表示为

$$I = GU \quad (1-10)$$

在非关联参考方向下,欧姆定律的表达式为

$$U = -RI \quad \text{或} \quad I = -GU \quad (1-11)$$

例 1.2 如图 1.9 所示为某电路的一部分,已知 $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$,



$I_1 = 3 \text{ A}$, $I_2 = -4 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$ 。试求: U_1 、 U_2 、 U_3 。

解: R_1 、 R_2 的电压与电流为关联参考方向, 故由式(1-9)可得

$$U_1 = R_1 I_1 = 5 \times 3 \text{ V} = 15 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 I_2 = 3 \times (-4) \text{ V} = -12 \text{ V}$$

R_3 的电压与电流为非关联参考方向, 故由式(1-11)可得

$$U_3 = -R_3 I_3 = -2 \times (-1) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

应注意, 在应用欧姆定律时, 公式本身有正或负号, 而电压、电流对于各自的参考方向也有正或负号, 两套符号不要混淆。

1.3.3 开路和短路

当线性电阻的阻值为无限大时, 由于电压为有限值, 所以通过的电流为零, 电路的这种状态称为开路。

当电阻为零时, 由于电流为有限值, 则其电压为零, 电路的这种状态称为短路。当电路中两点间用理想导线(电阻为零)连接时就形成短路。

对于电力系统, 电源两端不允许短路。由于电源短路时电流 $I = U_S / R_S$, 电源内阻 R_S 较小, 使短路电流较大而损坏电气设备。

1.3.4 电阻元件的功率

直流电路中, 在关联参考方向下, 电阻元件的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-12)$$

或

$$P = UI = \frac{I^2}{G} = GU^2 \quad (1-13)$$

可见, 电阻的功率与电流的平方或电压的平方成正比。所以不论电流或电压为正值还是负值, 平方后均为正值, 即电阻的功率 $P > 0$, 电阻总是吸收功率的, 所以电阻是耗能元件。

直流电路中, 电阻元件在 $\Delta t = t - t_0$ 时间内消耗的电能为

$$W = P(t - t_0) = RI^2 \Delta t = GU^2 \Delta t \quad (1-14)$$

电阻消耗的电能转换为热能, 在使用电阻器时必须注意它的电压、电流和功率不能超过其额定值。一般用电设备都存在电阻, 使用时会发热, 所以使用时应在额定状态下工作。

例 1.3 有一个 100Ω 、 0.25 W 的炭膜电阻, 能否接于 50 V 电源上使用?

解: 由式(1-12), 对于额定功率为 0.25 W , 阻值为 100Ω 的电阻, 其额定电压为

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{0.25 \times 100} = 5 \text{ V}$$

当把它接于 50 V 电源时, 实际电压 50 V 大大超过其额定电压 5 V , 电阻将被烧坏。

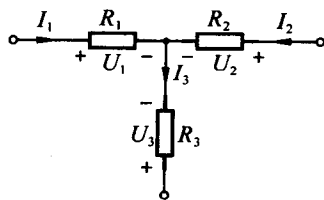


图 1.9 例 1.2 电路