



新一代高职教育信息通信规划教材

电路与信号

DIANLU YU XINHAO

苏开荣 主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新一代高职教育信息通信规划教材

电 路 与 信 号

苏开荣 主编

北京邮电大学出版社

·北 京·

内 容 简 介

本书较系统地介绍了电路与信号的基本概念、基本理论和基本分析计算方法。

全书共分为6章,内容包括基础知识、直流电路的基本分析法、一阶瞬态电路的时域分析、正弦稳态电路分析、瞬态电路的频域分析法和瞬态电路的复频域分析法。本书在叙述中着重于电路(网络)、信号及系统各概念间以及各种分析方法间的区别与联系;在结构上采用了先概念再方法、先基本再推广(如先直流再交流、先时域再变换域)的顺序,使之更符合由浅入深、循序渐进的认识规律。在各章首尾均安排了引言和小结,每章配有大量的例题和习题,并附有部分答案,便于学生自学和掌握。

本书构思新颖、组织合理、通俗易懂,可作为高职、高专电子信息类相关专业的教材,也可作为通信技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与信号/苏开荣主编. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-0881-3

I. 电... II. 苏... III. ①电路分析—高等学校—教材②信号系统—高等学校—教材

IV. ①TM133②TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 108113 号

出 版 者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京源海印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.75

字 数:389 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0881-3/TN·413

定价:24.00 元

·如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系·

新一代高职教育信息通信规划教材

编 委 会

主 任：肖传统

副主任：张孝强 张干生 严潮斌

委 员：(以姓氏笔画为序)

王立平 王巧明 王晓军 王 颖 宁 帆

刘翠霞 李 飞 李文海 苏开荣 吴正书

李转年 迟学芬 吴瑞萍 张一鸣 张敏华

张献居 张新瑛 杨 泉 顾生华 孟祥真

徐淳宁 曹晓川 蒋青泉 傅德月

秘 书：王琴秋

前 言

《电路与信号》是学习电路理论的入门课程,是高职高专电子信息类相关专业必修的专业基础课程,也是学生学习电子信息的最好起点。本课程的主要任务是研究线性时不变电路(网络或系统)的基本理论和基本分析方法,其应用领域非常广泛,如电子工程、计算机工程、电力系统、控制系统、通信系统等。通过本课程的学习,使学生掌握电路和信号的基本理论、基本分析方法和初步的实验技能,培养分析问题和解决问题的能力,为学习电子信息类专业知识和进一步学习电路理论打下基础。

本书强调以应用为目的,理论以必须、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点,从而体现高职高专基础课程的基本要求。其主要特点是:在结构上采用了先概念再方法、先基本再推广(如先直流再交流、先时域再变换域)的顺序,使之更符合由浅入深、循序渐进的认识规律;各章引言既与前面内容相衔接,又点出了本章的主要内容,各章结尾还对理论要点和公式作出了明确总结,便于学生理清思路;强调了电路(网络)、信号及系统各概念间以及各种分析方法间的区别与联系。

全书共分为六章,内容包括基础知识、直流电路的基本分析法、一阶瞬态电路的时域分析、正弦稳态电路分析、瞬态电路的频域分析法和瞬态电路的复频域分析法。

其中:

第1章(基础知识)主要介绍贯穿全书的“电路”及其基本变量、基本元件;基尔霍夫定律即基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL);与“电路”有密切联系的“信号”的概念;最后还简要介绍了系统分析的内容,包括系统的概念、线性时不变系统的分析方法等。

第2章(直流电路的基本分析方法)主要介绍关于等效电路的概念,由此引入简单的电阻电路等效分析方法;并应用基尔霍夫定律和欧姆定律,讨论较复杂的线性电路一般分析方法;最后介绍反映线性电路性质的常用定理。

第3章(一阶瞬态电路的时域分析)主要介绍在常见信号及其运算、储能元件的特性——换路定理、直流一阶瞬态电路的时域分析——“三要素法”、零输入响应与零状态响应的确定以及冲激响应和卷积积分等。

第4章(正弦稳态电路分析)主要介绍正弦信号及其相量表示;正弦稳态电路分析;谐振电路和理想变压器以及互感电路的分析。

第5章(瞬态电路的频域分析法)从傅立叶变换的基础傅立叶级数展开讨论,建立频谱的概念,然后导出傅立叶变换(简称傅氏变换),建立频谱密度的概念。并从周期信号及非周期信号的“分解”出发,重点讨论傅氏变换及其性质定理以及在求解电路零状态响应中的应

用,最后进一步分析线性系统信号无失真传输的条件。

第6章(瞬态电路的复频域分析法)主要讨论单边拉帕拉斯变换的定义、性质和反变换,在此基础上着重讨论线性电路的复频域分析法。

本书第2、5、6章由重庆邮电学院刘小莉老师编写,第2章习题由四川邮电职业技术学院的李媛老师编写,其余各章的编写以及全书的整体策划、结构设计、统稿和定稿等工作由苏开荣负责完成。全书由重庆邮电学院何丰教授主审。

在本书的编写过程中,得到了四川邮电职业技术学院、黑龙江信息技术职业学院以及北京邮电大学出版社等单位领导和老师的大力支持。另外,重庆邮电学院的刘小莉老师在例题和习题的选择等方面,重庆邮电学院通信工程专业游滔滔同学和南京理工大学研究生张洁同学在绘图等方面都做了大量的工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足甚至错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2005年8月

目 录

第1章 基础知识

1.1 引言	1
1.2 电路的概念	2
1.2.1 电路的基本变量	3
1.2.2 电路的基本元件	6
1.3 基尔霍夫定律	14
1.3.1 基尔霍夫电流定律	15
1.3.2 基尔霍夫电压定律	17
1.4 信号的概念	17
1.4.1 信号的分类	17
1.4.2 常见信号	18
1.4.3 激励与响应的概念	18
1.5 系统分析概述	19
1.5.1 网络与系统	19
1.5.2 系统的分类	19
1.5.3 线性时不变系统分析概述	22
小 结	26
习 题	28

第2章 直流电路的基本分析方法

2.1 引言	32
2.2 简单电路的等效转换分析法	33
2.2.1 无源电阻电路的等效化简	33
2.2.2 实际电源等效转换	40
2.3 复杂电路的一般分析方法	43
2.3.1 支路电流法	43
2.3.2 节点分析法	45
2.3.3 网孔分析法	49
2.4 线性电路的基本定理	53
2.4.1 叠加定理	53
2.4.2 戴维南定理	55
2.4.3 诺顿定理	59

2.4.4 最大功率传输定理·····	61
小 结·····	61
习 题·····	63

第3章 一阶瞬态电路的时域分析

3.1 引 言·····	70
3.2 常见信号及其运算·····	70
3.2.1 常见信号·····	70
3.2.2 信号的运算·····	76
3.3 储能元件的特性·····	80
3.3.1 电容元件的惯性特性·····	80
3.3.2 电感元件的惯性特性·····	81
3.4 直流一阶瞬态电路的时域分析——三要素法·····	83
3.4.1 三要素法的标准公式及求解步骤·····	83
3.4.2 三要素法的应用举例·····	85
3.5 零输入响应与零状态响应的确定·····	89
3.6 冲激响应和卷积积分·····	89
3.6.1 冲激响应·····	89
3.6.2 零状态响应的确定·····	91
3.6.3 卷积积分·····	93
3.7 零输入、零状态法应用举例·····	98
小 结·····	100
习 题·····	103

第4章 正弦稳态电路分析

4.1 引 言·····	111
4.2 正弦信号的相量表示·····	112
4.2.1 复 数·····	112
4.2.2 正弦信号·····	114
4.2.3 正弦信号的相量表示·····	117
4.3 基尔霍夫定律的相量形式·····	120
4.4 基本元件的相量表示·····	121
4.4.1 电阻元件·····	121
4.4.2 电感元件·····	122
4.4.3 电容元件·····	125
4.5 阻抗和导纳·····	127
4.5.1 阻抗与导纳的概念·····	127
4.5.2 无源二端电路的等效阻抗·····	128
4.6 正弦稳态电路分析举例·····	133

4.7 正弦电路中的功率	135
4.7.1 瞬时功率	135
4.7.2 平均功率(有功功率)	135
4.7.3 无功功率	136
4.7.4 视在功率	136
4.8 谐振电路	138
4.8.1 串联谐振电路	138
4.8.2 并联谐振电路	144
4.9 理想变压器	146
4.9.1 互感耦合电路	146
4.9.2 理想变压器	151
小 结	158
习 题	160

第5章 瞬态电路的频域分析法

5.1 引 言	168
5.2 周期信号的傅里叶级数	169
5.2.1 三角函数形式的傅里叶级数	169
5.2.2 指数形式的傅里叶级数	175
5.3 周期信号的频谱	177
5.3.1 频谱的相关概念	178
5.3.2 周期信号频谱的特点	178
5.3.3 频谱与 τ 和 T 的关系	179
5.3.4 傅里叶级数的应用	180
5.4 非周期信号的频谱	181
5.4.1 傅里叶变换的定义	181
5.4.2 典型信号的傅里叶变换	183
5.4.3 傅里叶变换的性质和定理	186
5.5 周期信号的傅氏变换	196
5.6 线性系统的频域分析	198
5.6.1 傅氏变换分析法基本概念	198
5.6.2 信号无失真传输的条件	199
小 结	200
习 题	202

第6章 瞬态电路的复频域分析法

6.1 引 言	207
6.2 拉普拉斯变换	207
6.2.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	207

6.2.2 常见信号的拉普拉斯变换	209
6.2.3 拉普拉斯变换的基本性质	211
6.3 拉普拉斯反变换	216
6.3.1 部分分式展开法	216
6.3.2 拉普拉斯反变换的求取步骤	216
6.3.3 利用性质求拉普拉斯反变换	219
6.4 瞬态电路的复频域分析法	219
6.4.1 s 域电路模型	220
6.4.2 复频域分析法举例	221
6.5 网络函数与冲激响应	224
6.5.1 网络函数	224
6.5.2 网络函数的确定及应用	225
小 结	227
习 题	228
部分习题参考答案	232
参考文献	240

第1章

基础知识

1.1 引 言

在现代化的生产、科研、国防和日常生活中,人们几乎天天都要和电(电能)打交道。电所以能获得广泛的应用,主要是因为以下几个优点:① 电能便于转换为其他形式的能量,如热能、光能、机械能等等;② 电能传输方便、迅速、经济;③ 电能便于控制,故电气设备易于操作、效率高、灵敏度高。电不仅是现代化工农业生产和交通运输的主要动力来源,也是通讯、自动控制、计算机技术和尖端科学技术的基础。

在各个电技术领域内,人们可以通过电路来完成各种任务。不同的电路具有不同的功能,例如,供电电路用来传输电能;整流电路可将交流电变成直流电;滤波器电路可以滤掉附加在有用信号上的噪声,完成信息处理任务;计算机中的存储器电路具有存储功能,用于存储原始数据、中间结果和最终结果;等等。电路种类繁多,其功能的分类法也很多。然而,不论电路结构有多么不同,最复杂的和最简单的电路之间却有着最基本的共性,遵循着相同的运动规律。

电子工程的两大基础理论是电路理论和电磁理论,在此基础上发展出电子工程的各个分支学科。由于电源、电子机械、控制、电子学、通信以及电子仪器等分支都是基于电路理论而发展形成的,所以,基本电路理论课程是电子工程最重要的课程,也是学习电子工程的最基本的起点。学习电路理论课对理工科中非电子工程专业的学生也是需要的,因为从总体上看,电路是研究能量系统的一个很好的模型,其中包含有应用数学、物理学和拓扑学等诸多内容。

电路理论含有两大分支:一是电路分析,主要内容是在给定的电路结构、元件参数的条件下,求电路中各处电压电流的分配;二是电路综合,就是在给定输入、输出(或激励、响应)的条件下,求电路结构。

本课程的主要任务是研究线性时不变电路(网络或系统)的基本理论和基本分析方法,它是电路理论课程的入门课程,是电子工程各专业学员所必修的技术基础。通过本课程的学习,使读者掌握电路的基本理论、基本分析方法和初步的试验技能,培养分析问题和解决问题的能力,为进一步学习电路理论和学习电类专业知识打下基础。

本章首先介绍贯穿于全书的电路及其基本物理量、基本元件;在此基础上介绍体现结构约束(拓扑约束)的基尔霍夫两个定律,即基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律

(KVL);之后,介绍与“电路”有密切联系的“信号”的概念;最后,介绍系统分析的内容,包括系统的概念、线性时不变系统的分析方法等。

1.2 电路的概念

电路是指由实际器件按一定方式连接形成的电流通路。下面将从实际电路出发,引出电路模型。

日常生活中,人们每天都要接触一些电器设备,如电灯、电视、电话、电脑等等。虽然种类很多,形式和结构也各不相同,但有它们都是由若干电器元件(如电源、电阻器、电容器、电感器、变压器、电子管、晶体管、开关等)按一定方式组合起来,构成电的通路。一个手电筒电路及其电路模如图 1-1 所示。

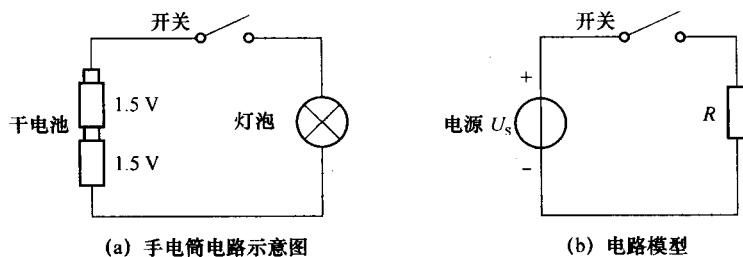


图 1-1 手电筒电路及其电路模型

从图 1-1(a)可以看出,手电筒电路主要由 3 部分组成:

- ① 提供电路工作的能源(电池),简称电源;
- ② 用电装置(灯泡),称其为负载,将电能转化为其他形式的能量;
- ③ 连接电源与负载传输电能的金属导线,称为连接导线。

电源、负载、连接导线是任何形式电路都不可缺少的 3 个组成部分。根据电路的作用,电路基本可分为两大类:一类是对信号进行变换、传输和处理;另一类是对电能进行传输、转换和分配。前者用来对各种物理量进行测量、放大等,如收音机、手机等,将接收到的微弱信号经过放大以后满足工作的要求;后者用来把电能转化为其他形式的能量,如发电机将水能、热能转变成电能,通过变压器、输电线传送给各个用电单位。

实际的电路一般都比较复杂。为了便于分析,常用一些能近似反映实际电路主要物理性能模型来表征实际的电路部件的性能,这样的模型称为理想元件或元件模型。一个实际电路可以由多个理想元件组合模拟,这样的电路称为电路模型。

电路理论中常用的几种最基本的理想元件为电阻、电容、电感、电压源和电流源等。图 1-2 给出了它们的符号图形。利用这些理想元件,可以将图 1-1(a)所示的手电筒电路用图 1-1(b)所示的电路模型来表示。

本书主要讨论如何分析已经建立起来的电路模型,至于如何建立一个实际电路的模型问题,则不在本书的讨论范围之内,读者可以参考相关书籍。

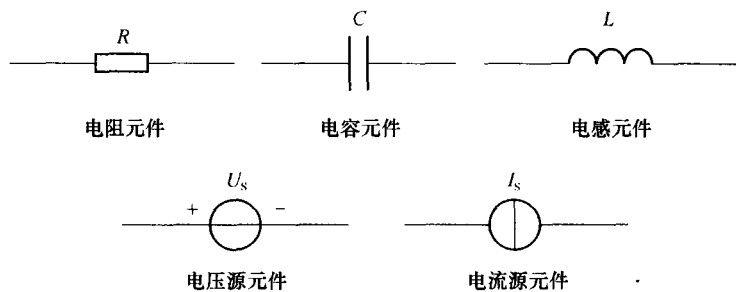


图 1-2 几种基本的理想元件

1.2.1 电路的基本变量

电路中的变量包括电荷、磁链、电流、电压、功率和能量。通常选电流、电压作为基本变量,因为它们可以方便地表示出其他变量。

1. 电流与电压

(1) 电流

带电粒子在外电场作用下定向移动形成电流。电流是客观存在的物理现象,虽然看不见,但可以通过它的热效应、磁效应和光电效应来感受到它的存在。

单位时间内通过导体截面的电量定义为电流强度(简称电流)。其表达式为

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

$$I = \frac{q}{t} \quad (\text{直流}) \quad (1-1b)$$

在国际单位制中, q 的单位是库仑(C), t 的单位是秒(s), 电流的单位的安培(A)。因此, 1 安培 = 1 库伦/秒(1 库伦 = 1 安培·秒), 即 $1A = 1C/s$ ($1C = 1A \cdot s$)

电流不仅有大小, 而且有方向, 通常把正电荷流动的方向规定为电流的实际方向, 又称正方向, 显然电流的方向与负电荷的流动方向相反, 如图 1-3 所示。实际上, 电流有交流和直流之分, 把大小和方向随时间变化的电流称为交流(用 i 表示); 大小和方向不随时间变化的恒定的电流称为直流(用 I 表示)。

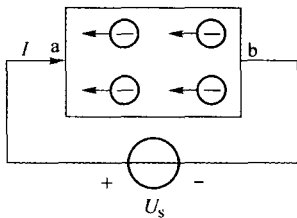


图 1-3 电流的方向

(2) 电压

把单位正电荷由图 1-3 中 a 点移到 b 点时, 该电荷获得或失去的能量定义为电压, 表达式为

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (\text{交流}) \quad (1-2a)$$

$$U = \frac{W}{q} \quad (\text{直流}) \quad (1-2b)$$

在国际单位制中, 能量的单位是焦耳(J), 电压的单位是伏特(V)。

如果单位正电荷由 a 点运动到 b 点时失去了能量, 那么 a 、 b 两点间存在电压降, a 点为高电压(正极), b 点为低电压(负极)。如果正电荷由 a 点运动到 b 点获得能量, 那么 a 、 b 两点之间存在电压升, a 点为低电位(负极), b 点为高电位(正极)。

可见,电压也是有方向的,电压的实际方向是从高电位(正极)指向低电位(负极),即电位降的方向为电压的正方向。

(3) 参考方向

电流和电压的方向是客观存在的,但在具体电路中,特别是对于较复杂的直流电路,往往难于判断某支路电流的实际方向,也难以事先判定元件上两端电压的实际方向,对交流电路而言,其方向是随时间变化的,问题显得更为突出。为此,引入一个新的概念——参考方向,即在分析、计算电路时,先任意假定一个电流或电压的参考方向,电流用箭头表示,电压用一对“+”、“-”号表示,在表达中用双下标表示,如 U_{ab} , a 点表示高电位, b 点低电位; I_{ab} 表示电流参考方向从 a 到 b。

电路中,电流、电压的实际方向可能与参考方向相同,也可能相反,因此电流、电压可正可负。若分析计算的结果为正,表示电流或电压的实际方向与参考方向一致;若为负,则表明电流或电压的实际方向与参考方向相反。应当指出,只有在参考方向选定之后,电流或电压之值才存在正负之分。

分析电路时,电压和电流都要设参考方向,且可任意假设,互为相关。但为了分析方便,常采用关联参考方向,即把元件上的电压参考方向和电流的参考方向取为一致。也就是电流从电压极“+”端流入到“-”端,如图 1-4(a)所示;而电压的参考方向与电流的参考方向不一致时,即为非关联参考方向,如图 1-4(b)所示;如果题目中在采用关联参考方向的前提下,可以只标出 u (或 i) 的方向,而另一个变量的方向可省略,如图 1-4(c)所示。

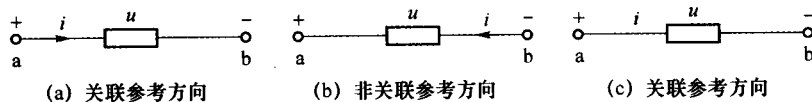


图 1-4 电压和电流的关联参考方向和非关联参考方向

2. 功率和能量

(1) 功率

功率是电路分析及工程中经常使用的物理量,用来衡量电路中能量变化的速率,其定义式为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1-3a)$$

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-3b)$$

式中, p 表示随时间变化的功率,也称瞬时功率; P 表示不随时间变化的功率,通常指直流电流的功率; W 表示元件吸收的能量。在国际单位制中,功率的单位是瓦特(W)。由式(1-1)和式(1-2),可以将式(1-3)改写如下

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4a)$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{W}{q} \cdot \frac{q}{t} = UI \quad (1-4b)$$

这说明一段电路的功率等于这段电路的电压与电流的乘积。当然,式(1-4)是在电流、电压为关联的参考方向下使用(如图 1-5(a)所示);若在非关联参考方向下(如图 1-5(b)所示)则为

$$p = -ui \text{ 或 } P = -UI \quad (1-5)$$

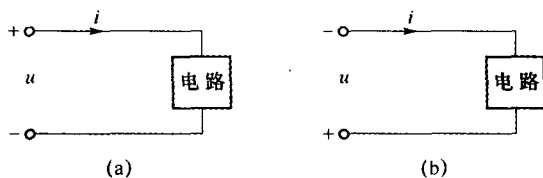


图 1-5 功率正负号的意义

对式(1-4),若最终计算结果为 $p > 0$,则表示电路吸收功率;若 $p < 0$,则表示电路释放功率。因此,在电路分析中,功率也有正负之分,如图 1-5 所示。

综上所述,参考方向是电路理论中一个十分重要的概念,应用参考方向可简化计算过程中的符号问题。

从能量守恒的角度出发,任何电路都必定要遵守这一定律,因此,电路中吸收功率 = - 释放功率,任何瞬间电路功率的代数和必为零,即

$$\sum p = 0 \quad (1-6)$$

也即电路中释放的总功率必须与吸收的总功率平衡。

(2) 能量

由式(1-3)可得到时间从 t_0 到 t 电路吸收或释放的能量为

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

能量是做功的本领,一般采用千瓦时作为度量电力的单位,即 $1\text{kw} \cdot \text{h}$ (小时) = 3600 kJ = 1度电。比如日常生活中,电费的缴纳就是按度来计算的。

例 1-1 在图1-6所示的电路中,各元件的电压和电流的参考方向已标注在图中。已知 $U_1 = 2\text{V}$, $I_1 = 4\text{A}$, $U_2 = -3\text{V}$, $I_2 = 2\text{A}$, $U_3 = -2\text{V}$, $I_3 = -2\text{A}$, $U_4 = -3\text{V}$ 。试计算各元件的功率,并说明它们是吸收功率还是产生功率?

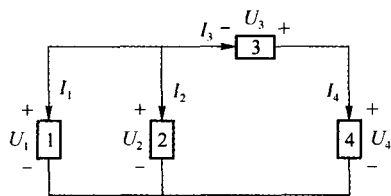


图 1-6 例 1-1 图

解 根据电路图中已标明的各支路电流电压参考方向,由功率的计算公式,有

$$P_1 = U_1 I_1 = 2 \times 4 = 8\text{W}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = -3 \times 2 = -6\text{W}$$

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-2) \times 4 = 4\text{W}$$

$$P_4 = U_4 I_4 = (-3) \times 2 = -6\text{W}$$

从以上功率计算中可以看出: P_1 、 P_3 为正值,说明该支路消耗功率; P_2 、 P_4 为负值,说明该支路释放功率。且

$$P_1 + P_3 = 12\text{W} \quad (\text{吸收功率})$$

$$P_2 + P_4 = -12\text{W} \quad (\text{释放功率})$$

故

$$P_1 + P_3 = -P_2 + P_4$$

满足功率守恒。

在电路分析中常利用功率平衡来检验计算结果是否正确。

1.2.2 电路的基本元件

电阻、电容、电感及电源是电路的基本元件,下面分别讨论这些元件的基本特性。

1. 电阻元件

电阻元件是电路分析中最常用的元件之一。如电阻器、白炽灯、电炉等电器件,其理想化模型就是电阻。它们共同的特点就是对电流表现阻力作用,消耗电能,因此也简称耗能元件。

(1) 电阻元件的伏安特性、欧姆定律

任何二端元件上两个端上的电压、电流关系称为该元件的伏安关系(VAR)或伏安特性。电阻元件的伏安关系可由大家熟知的欧姆定律确定。

$$u = Ri \quad (1-8)$$

当电流、电压为关联参考方向时,如图 1-7(a)所示,欧姆定律就用式(1-8)描述。若 u 、 i 为非关联参考方向时,如图 1-7(b)所示,则应在式(1-8)右端加上负号,即

$$u = -Ri \quad (1-9)$$

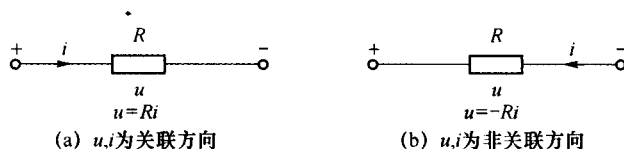


图 1-7 欧姆定律的符号与 u, i 参考方向的关系

式中,若 u 的单位为伏(特)符号为 V; i 的单位为安(培)符号为 A,则电阻 R 的单位是欧姆),符号为 Ω 。在关联参考方向下,电阻元件的伏安特性也可写成

$$i = Gu \quad (1-10)$$

即通过电阻元件的电流与元件的端电压成正比,其比例式为

$$G = \frac{i}{u} = \frac{1}{R} \quad (1-11)$$

式中 G 称为元件的电导,单位是西门子,符号为 S。电导与电阻互为倒数关系。

对于直流电路,其欧姆定律的关系式为

$$U = RI \quad (1-12a)$$

$$I = GU \quad (1-12b)$$

根据式(1-8),可以用 u, i 平面上的一条曲线来描述欧姆定律。这条曲线称为电阻元件伏安特性曲线。当伏安特性曲线是一条过坐标原点的直线时,称电阻为线性电阻,该直线的斜率确定了电阻的阻值,如图 1-8(a)所示。若伏安特性曲线是一条斜率变化的曲线时,对应的电阻称为非线性电阻,如图 1-8(b)所示。 u, i 之比不是常数,但就具体的某一点而言,也是符合欧姆定律的。本书只讨论线性电阻。

(2) 电阻元件的功率与耗能

电阻元件的功率可按式(1-4)结合欧姆定律得到:

瞬时功率

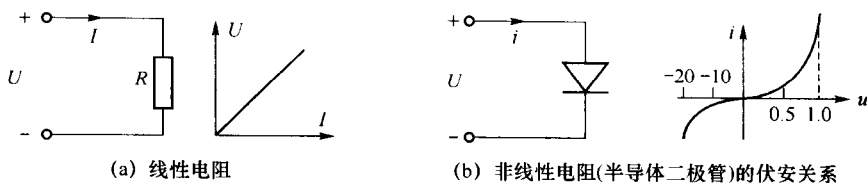


图 1-8 电阻元件的伏安关系

$$p_R = ui = Ri^2 = Gu^2 \quad (1-13)$$

直流功率

$$P_R = UI = RI^2 = GU^2 \quad (1-14)$$

从式(1-13)和式(1-14)可看出,电阻元件的功率与通过元件的电流的平方或元件的端电压的平方成正比,其功率恒大于0。说明电阻元件是耗能元件。

在时间 $[t_1, t_2]$ 内,电阻消耗的能量一般按式(1-15)计算:

$$W_R(t) = \int_{t_1}^{t_2} P_R(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) i(t) dt \quad (1-15)$$

在直流情况下,在一段时间 T 内,电阻消耗能量的计算式为

$$W_R = P_R T = UIT = RI^2 T = GU^2 T \quad (1-16)$$

实际电阻元件,其电压、电流或功率都不可能在不受任何限制的情况下应用。电压过高或电流过大都将引起电阻功率过大,发热过度而损坏。为保证电气设备的安全使用,对各种电气制备都规定了电压、电流和功率的限额,分别称为额定电压、额定电流和额定功率。它们是设备能安全工作能允许的最大值。根据电压、电流和功率之间的关系,实际标明额定值时,一般不需要都给出,如电灯通常只给出额定电压和额定功率。许多电阻元件,也只标明电阻值和额定功率。

例 1-2 电路中需要一个 $390\ \Omega$ 的电阻,已知该电阻应承受的电压 $U = 100\text{ V}$,现有两种规格的电阻可供选择,一种是 $1/4\text{ W}, 390\ \Omega$;另一种是 $1/2\text{ W}, 390\ \Omega$ 。你认为应该选择哪一种规格的电阻? 还是两种均可? 为什么?

解 根据题意,可知电阻的额定电压为 $U_{\text{额}} = 100\text{ V}$ 。若要使电阻安全工作,则应选择的电阻额定电压必须小于或等于所需电阻的额定电压。

对 $1/4\text{ W}, 390\ \Omega$ 的电阻,根据 $P = U^2/R$,知其额定电压为

$$U_1 = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{4} \times 390} \approx 9.9\text{ V}$$

对 $1/2\text{ W}, 390\ \Omega$ 的电阻,其额定电压为

$$U_2 = \sqrt{PR} = \sqrt{\frac{1}{2} \times 390} \approx 14\text{ V}$$

比较可知, $U_1 < U, U_2 < U$,所以两种规格的电阻均可选用。

2. 电容元件

电容元件是电容器的理想化模型。电容器的基本结构是两个金属薄片中间填充绝缘介质,如图1-9(a)所示。当电容器的外接端上加的电压 u_C 时,它的两个极片上分别储有电量为 q 的正负电荷。 q 与 u_C 的比值称为电容器的电容,用符号 C 表示。