

“十三五”高等教育电子类规划教材

电路分析基础

DIANLU FENXI JICHU

主 编 邵雅斌 胡晓阳 陈 晨

主 审 田崇瑞



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

“十三五”高等教育电子类规划教材

电路分析基础

主 编 邵雅斌 胡晓阳 陈 晨
主 审 田崇瑞



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书对电路的基本理论、基本定律、基本概念及基本分析方法做了系统、详尽的阐述,力求内容完整、重点突出、通俗易懂。内容侧重于从工程应用角度介绍电路基本理论、分析方法。以电压、电流响应为线索,依次讲解直流电路、动态电路和交流电路相关内容。全书可读性强,每章最后均以工程应用示例结束。

本书可作为高等学校电子、通信、自动控制、计算机、信息类相关专业的本科“电路”或“电路分析基础”课程的教材,也可供从事上述专业的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础 / 邵雅斌, 胡晓阳, 陈晨主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-5635-5493-5

I. ①电… II. ①邵… ②胡… ③陈… III. ①电路分析 IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 145990 号

书 名: 电路分析基础

著作责任者: 邵雅斌 胡晓阳 陈 晨 主 编

责 任 编 辑: 满志文 穆菁菁

出 版 发 行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号 (邮编: 100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16.75

字 数: 427 千字

版 次: 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5493-5

定 价: 44.00 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 •

前 言

电路理论是电工和电子技术的重要理论基础。本书主要介绍电路的基本理论(电路的基本概念、基本性质、基本定律和定理)和电路的常用分析方法,是电气信息类专业学生的专业基础课。通过对本书的学习,要求学生掌握电路的基本理论和基本分析方法,培养科学思维能力、分析计算能力和理论联系实际的工程观念,为后续课程学习打好必要的基础。

编者在多年从事“电路”课程的教学改革和教学实践的基础上,总结了理论和实践教学的经验,结合新技术的发展,纵观国内外相关课程教材,针对学生在学习经常遇到的困难问题,尝试采用理论与实践相结合的教学模式,本着理论够用,着眼应用的原则,编写了这本以应用为主线,结合学科新技术发展的教材。

电路分析主要研究电路的基本概念和基本定律、电阻电路的等效变换、电阻电路的一般分析方法、电路定理、动态元件和动态电路、动态电路的时域分析、正弦稳态电路分析、三相电路等内容。全书共分 12 章,由邵雅斌、胡晓阳和陈晨担任主编,田崇瑞担任主审。

其中第 1~第 3 章由邵雅斌编写,第 4 章和第 5 章由陈晨编写,第 6 章由胡晓阳编写,第 7 章由田崇瑞编写,第 8 章由赵龙编写,第 9 章由尹文佳编写,第 10 章由魏洪玲编写,第 11 章由林春编写,第 12 章由刘芳和吴和静共同编写。全书由邵雅斌负责组织和定稿,陈晨负责校对,田崇瑞负责审稿工作。

在本书编写的过程中,编者借鉴了许多优秀教材和技术专家的宝贵经验和技术资料,得到了北京邮电大学出版社的大力支持与帮助,在此深表谢意。同时诚挚地感谢王培东教授、沈永良教授,他们多年来与作者一起开展的理论和实践教学改革工作,为本书内容的编写奠定了基础。

限于编者水平,书中疏漏之处在所难免,敬请业界同人和读者批评指正。

编 者

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
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	3
1.2.1 电流和电流的参考方向	3
1.2.2 电压和电压的参考方向	4
1.2.3 电功率	5
1.3 电阻元件	6
1.3.1 线性电阻	6
1.3.2 电阻元件的电压与电流的关系	6
1.3.3 电阻元件的功率与能量	7
1.4 电压源和电流源	8
1.4.1 电压源	8
1.4.2 电流源	9
1.5 受控电源	10
1.6 基尔霍夫定律	12
1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	13
1.6.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	14
本章小结	16
本章内容延展与工程应用实例	17
习题 1	18
第 2 章 电阻电路的等效变换	21
2.1 电路的等效变换	21
2.1.1 二端网络的概念	21
2.1.2 等效电路与等效变换	22
2.2 电阻的串联和并联	22
2.2.1 电阻的串联	22
2.2.2 电阻的并联	23
2.2.3 电阻的串并联	24

2.3 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换·····	27
2.3.1 电阻的星形连接与三角形连接·····	27
2.3.2 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换·····	28
2.4 电源的等效变换·····	31
2.4.1 电压源、电流源的串联和并联·····	31
2.4.2 实际电源的两种模型及其等效变换·····	33
2.5 输入电阻·····	37
本章小结·····	38
本章内容延展与工程应用实例·····	39
习题 2·····	40
第 3 章 电阻电路的一般分析方法 ·····	44
3.1 支路电流法·····	44
3.2 网孔电流法·····	46
3.2.1 网孔电流·····	46
3.2.2 网孔电流法·····	47
3.3 回路电流法·····	50
3.4 节点电压法·····	52
3.4.1 节点电压·····	52
3.4.2 节点电压法·····	53
本章小结·····	57
本章内容延展与工程应用实例·····	58
习题 3·····	59
第 4 章 电路定理 ·····	62
4.1 叠加定理和齐次定理·····	62
4.1.1 叠加定理·····	62
4.1.2 齐次定理·····	64
4.2 替代定理·····	66
4.3 戴维宁定理和诺顿定理·····	68
4.3.1 戴维宁定理·····	69
4.3.2 诺顿定理·····	72
4.3.3 应用戴维宁定理和诺顿定理分析电路·····	73
4.4 最大功率传输定理·····	77
本章小结·····	79
本章内容延展与工程应用实例·····	80
习题 4·····	81

第 5 章 动态元件和动态电路	85
5.1 电容元件	85
5.1.1 线性电容元件	85
5.1.2 电容元件的电压、电流关系	86
5.1.3 电容元件的等效变换	89
5.2 电感元件	89
5.2.1 线性电感元件	89
5.2.2 电感元件的电压、电流关系	90
5.2.3 电感元件的等效变换	93
5.3 动态电路及其初始条件	93
5.3.1 动态电路的基本概念	93
5.3.2 换路定则	94
5.3.3 初始值的确定	95
本章小结	96
本章内容延展与工程应用实例	97
习题 5	98
第 6 章 动态电路的时域分析	100
6.1 一阶电路的零输入响应	100
6.1.1 RC 电路的零输入响应	101
6.1.2 RL 电路的零输入响应	104
6.1.3 一阶电路零输入响应的一般公式	106
6.2 一阶电路的零状态响应	107
6.2.1 RC 电路的零状态响应	107
6.2.2 RL 电路的零状态响应	109
6.3 一阶电路的全响应	110
6.4 一阶电路的三要素法	111
6.5 一阶电路的阶跃响应	115
6.5.1 阶跃函数	116
6.5.2 阶跃响应	118
6.6 一阶电路的冲激响应	120
6.6.1 冲激函数	120
6.6.2 冲激响应	123
6.7 二阶电路的零输入响应	124
6.7.1 二阶电路微分方程及求解	124
6.7.2 固有频率的三种情况及其响应形式	125
本章小结	130
本章内容延展与工程应用实例	131
习题 6	132

第 7 章 正弦稳态电路分析	136
7.1 正弦量	136
7.1.1 正弦量的三要素	137
7.1.2 相位差	139
7.2 相量分析法基础	140
7.2.1 复数简介	140
7.2.2 相量和相量图	142
7.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	144
7.2.4 电阻、电感和电容元件 VCR 的相量形式	145
7.3 阻抗和导纳	149
7.3.1 阻抗和导纳	149
7.3.2 欧姆定律的相量形式	150
7.3.3 阻抗的等效变换	150
7.4 正弦稳态电路的分析	153
7.4.1 相量解析法	153
7.4.2 电路的相量图法	156
7.5 正弦稳态电路的功率	157
7.5.1 正弦稳态电路的功率	157
7.5.2 各元件功率	158
7.5.3 功率因数的提高	159
7.5.4 最大功率传输	161
7.6 交流电路中的谐振	162
7.6.1 串联谐振	163
7.6.2 并联谐振	165
本章小结	167
本章内容延展与工程应用实例	167
习题 7	169
第 8 章 三相电路	173
8.1 三相电路的基本概念	173
8.1.1 三相电路的组成	173
8.1.2 三相电路的连接	174
8.2 三相电路线电压(电流)与相电压(电流)关系	175
8.2.1 Y 形连接的线电压(电流)与相电压(电流)关系	176
8.2.2 Δ 形连接的线电压(电流)与相电压(电流)关系	177
8.3 对称三相电路分析	179
8.4 不对称三相电路	182
8.5 三相电路的功率	184

8.5.1 三相电路的功率	184
8.5.2 三相电路功率的测量	185
本章小结	186
本章内容延展与工程应用实例	187
习题 8	188
第 9 章 含有耦合电感的电路	190
9.1 耦合电感元件	190
9.1.1 自感和自感电压	190
9.1.2 互感	191
9.1.3 耦合电感线圈的同名端	192
9.1.4 耦合电感元件的伏安关系及电路模型	193
9.2 含有耦合电感电路的分析	194
9.2.1 互感线圈的连接	195
9.2.2 含有耦合电感电路的分析	200
9.3 变压器	201
9.3.1 空心变压器	201
9.3.2 理想变压器	203
本章小结	205
本章内容延展与工程应用实例	206
习题 9	207
第 10 章 不同频率正弦信号电路的分析	211
10.1 不同频率正弦信号作用的电路	211
10.2 非正弦周期信号	212
10.2.1 非正弦周期函数分解为傅里叶级数	213
10.2.2 有效值、平均值和平均功率	215
10.3 非正弦周期信号电路的计算	216
本章小结	218
本章内容延展与工程应用实例	218
习题 10	219
第 11 章 二端口网络	221
11.1 二端口网络的概念	221
11.2 二端口网络的参数和方程	222
11.2.1 Y 参数(短路参数)和 Y 参数方程	222
11.2.2 Z 参数(开路参数)和 Z 参数方程	225
11.2.3 T 参数(传输参数)和 T 参数方程	227
11.2.4 H 参数(混合参数)和 H 参数方程	229

11.2.5 二端口网络各参数间的关系·····	230
11.2.6 具有端接的二端口网络分析·····	232
11.3 二端口的等效电路·····	233
11.3.1 互易二端口的等效电路·····	233
11.3.2 含有受控源二端口的等效电路·····	234
11.4 二端口的连接·····	235
11.4.1 二端口的级联·····	235
11.4.2 二端口的并联·····	236
11.4.3 二端口的串联·····	238
本章小结·····	239
本章内容延展与工程应用实例·····	239
习题 11 ·····	243
第 12 章 Multisim 仿真软件使用简介 ·····	246
12.1 Multisim 软件简介 ·····	246
12.2 Multisim 基本使用方法 ·····	246
12.2.1 Multisim 安装 ·····	246
12.2.2 Multisim 界面 ·····	247
12.2.3 菜单栏·····	247
12.2.4 Multisim 界面定制 ·····	248
12.3 Multisim 电路建立 ·····	249
12.4 Multisim 电路仿真 ·····	252
12.4.1 给电路增加仪表·····	252
12.4.2 电路仿真·····	254
12.5 Multisim 电路分析 ·····	255
12.5.1 电路分析相关设置·····	255
12.5.2 电路分析结果观察·····	257
参考文献·····	258

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

教学提示:电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,用电流 i 、电压 u 和功率 p 等物理量来描述其中的过程。因为电路是由电路元件构成的,因而整个电路的表现如何既要看元件的连接方式,又要看每个元件的特性,这就决定了电路中各支路电流、电压要受到两种基本规律的约束,即:①电路元件性质的约束,也称电路元件的伏安关系(VCR),它仅与元件性质有关,而与元件在电路中的连接方式无关;②电路连接方式的约束,这种约束关系与构成电路的元件性质无关。基尔霍夫定律是概括这种约束关系的基本定律。

本章主要介绍电路的基本概念和基本定律。如电路和电路模型、电压和电流参考方向等概念,电路功率的讨论,电阻、独立电源和受控电源等电路元件。最后讨论集总参数电路的基本定律——基尔霍夫定律。这些内容都是分析和计算电路的基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电流流经的路径称为电路,它是为了某种需要由电工设备或电路元件按一定方式相互连接而成。

电路的结构形式是多种多样的,一般由三部分组成:电源、负载和中间环节。

电源:是供应电能的设备。它把其他形式的能量转换成电能,如发电机把机械能或热能转换为电能,电池把化学能转换为电能。

负载:是取用电能的设备。它是将电能转换成其他形式能量的装置,如电灯、电动机、电炉分别将电能转换为光能、机械能、热能等。

中间环节:连接电源和负载的部分。最简单的中间环节就是导线和开关,起到传输和分配电能或对电信号进行传递和处理的作用。

按电路所能完成的工作任务划分,电路的作用有两种:一种是实现电能的传输和转换,如图 1-1(a)所示。该系统用发电机将其他形式的能量转换成电能,再通过变压器和输电线输送到负载,将电能转换成其他形式的能量,如电动机、电炉、电灯等;另一种是实现信号的传递与处理。常见的例子如图 1-1(b)所示的扩音机电路。先由话筒把语言或音乐转换为相应的电

压和电流,它们就是电信号。再经过放大器将电信号进行放大,而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。信号的这种转换和放大,称为信号处理。

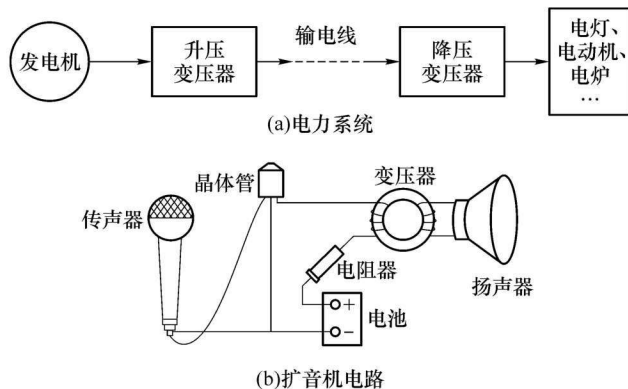


图 1-1 电路示意图

不论电能的传输和转换,或者信号的传递与处理,其中电源或信号源的电压或电流统称为激励。它推动电路的工作,而激励在电路中所产生的电压和电流的效应称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路的结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应的各种运算关系和表示方法。

1.1.2 电路模型

在图 1-1 所示电路中,由发电机、变压器、输电线、电灯、电动机、电阻器、晶体管、电池和扬声器等电气器件和设备连接而成的电路,称为实际电路。根据实际电路的几何尺寸(d)与其工作信号波长(λ)的关系,可以将它们分为两大类:满足 $d \ll \lambda$ 条件的电路称为集总参数电路。其特点是电路中任意两个端点间的电压和流入任一器件端钮的电流是完全确定的,与器件的几何尺寸和空间位置无关。不满足 $d \ll \lambda$ 条件的另一类电路称为分布参数电路,其特点是电路中的电压和电流不仅是时间的函数,也与器件的几何尺寸和空间位置有关,由波导和高频传输线组成的电路是分布参数电路的典型例子。本书只讨论集总参数电路,为叙述方便起见,今后常简称为电路。

研究集总参数电路特性的方法有两种:一种是用电器仪表对实际电路直接进行测量;另一种更重要的方法是将实际电路抽象为电路模型,用电路理论的方法分析计算出电路的电气特性。实际电路中发生的物理过程是十分复杂的,电磁现象发生在各器件和导线之中,相互交织在一起。对于集总参数电路,当不关心器件内部的情况,只关心器件端钮上的电压和电流时,可以定义一些理想化的电路元件来模拟器件端钮上的电气特性。例如,定义电阻元件是一种只吸收电能(它可以转换为热能或其他形式的能量)的元件,电容元件是一种只存储电场能量的元件,电感是一种只存储磁场能量的元件。用这些电阻、电容和电感等理想化的电路元件,近似模拟实际电路中每个电气器件和设备,再根据这些器件的连接方式,用理想导线将这些电路元件连接起来,就得到该电路的电路模型。例如,图 1-2(b)所示就是图 1-2(a)所示电路的电路模型。这些电路模型是用电路元件的图形符号表示的,常称为电路图。

本书中所使用的电路元件,若不加特别说明,均视为理想元件。各理想元件的图示符号如表 1-1 所示。

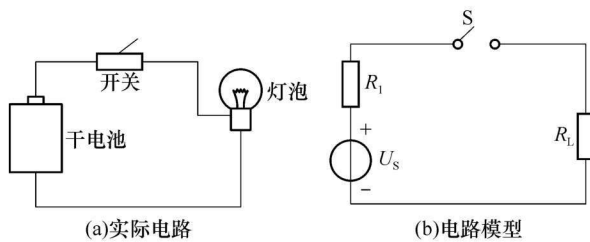


图 1-2 手电筒电路

表 1-1 常见电路元件的图示符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
开关		电阻		电压源	
导线		电感		电流源	
连接导线		电容		电池	

1.2 电路的基本物理量

电路的特性是由电流、电压和功率等物理量来描述的。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和功率。

1.2.1 电流和电流的参考方向

带电粒子的定向移动形成电流。电流既是一种物理现象,同时又是一个表征电流强弱的物理量,是电流强度的简称。

电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,一般用符号 i 表示,即

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

式中, dq 是 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。在 SI 制(国际单位制)中,电荷量的单位为库仑 (C),时间的单位为秒 (s),则电流 i 的单位为安培 (A)。

当 $\frac{dq}{dt}$ 为常量时,这种电流称为恒定电流,简称直流电流,通常用大写字母 I 来表示,即

$$I = \frac{q}{t} \tag{1-2}$$

式中, q 是在时间 t 内通过导体横截面的电量。也就是说直流电流是用平均值来表示的,而随时间按周期性规律变动且平均值为零的电流称为交流电流,一般用小写字母 i 来表示。

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流方向(实际方向)。在分析电路时,往往难以事先确定电流的实际方向,而且交流电流的实际方向又随时间而变,无法在电路图上标出适合于任何时间的电流实际方向。为此,在分析和计算电路时,可任意选定某一方向为电流的参考方向,或称为正方向。在电路图中一般用箭头表示,也可以用双下标表示。例如, i_{ab} 表示参考方向是由 a 到 b。

所选的电流参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流实际方向与参考方向相同时,电流取正值;当电流实际方向与参考方向相反时,电流取负值。根据电流的参考方向以及电流量值的正负,就能确定电流的实际方向。

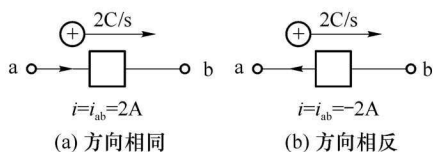


图 1-3 电流的参考方向

例如,在图 1-3 所示的二端元件中,每秒有 $2C$ 正电荷由 a 点移动到 b 点。当规定电流参考方向由 a 点指向 b 点时,该电流 $i = 2A$,如图 1-3 (a)所示;若规定电流参考方向由 b 点指向 a 点时,则电流 $i = -2A$,如图 1-3 (b)所示,若采用双下标表示电流参考方向,则写为 $i_{ba} = 2A$ 或 $i_{ab} = -2A$ 。电路中任一

电流有两种可能的参考方向,当对同一电流规定相反的参考方向时,相应的电流表达式相差一个负号,即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-3)$$

1.2.2 电压和电压的参考方向

电荷在电路中移动,就会有能量的交换发生。单位正电荷由电路中 a 点移动到 b 点所获得或失去的能量,称为 ab 两点间的电压,即

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

式中, dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量,单位为库仑(C); dW 为电荷移动过程中所获得或失去的能量,其单位为焦耳(J);电压的单位为伏特(V)。

电场力将单位正电荷从电场内的 a 点移动至无限远处所做的功,被称为 a 点的电位 V_a 。由于无限远处的电场为零,所以电位也为零。因此,电场内两点间的电位差,也就是 a、b 两点间的电压,即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

为分析电路方便起见,一般在电路中任选一点为参考点,令参考点电位为零,则电路中某点相对于参考点的电压就是该点的电位。

量值和方向均不随时间变化的电压,称为恒定电压或直流电压,一般用符号 U 表示。量值和方向随时间变化的电压,称为时变电压,一般用符号 u 表示。

习惯上认为电压的实际方向是从高电位指向低电位。将高电位称为正极,低电位称为负极。与电流类似,电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定,在分析电路时,必须选定电压的参考方向或参考极性,用“+”号和“-”号分别标注在电路图的 a 点和 b 点附近,或者用双下标 u_{ab} 表示,或者电压的参考方向用箭头表示,即设定沿箭头方向电位是降低的。电压参考方向的表示方法如图 1-4 所示。

所选的电压参考方向并不一定与电压的实际方向一致。若计算出的电压 $u_{ab} > 0$ ，则表明电压参考方向或参考极性与电压的实际方向或实际极性一致，即该时刻 a 点的电位比 b 点电位高；若电压 $u_{ab} < 0$ ，则表明电压参考方向或参考极性与电压的实际方向或实际极性相反，即该时刻 a 点的电位比 b 点电位低。

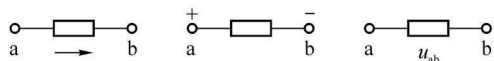


图 1-4 电压参考方向的表示方法

对于二端元件而言，电压的参考极性和电流参考方向的选择有四种可能的方式，如图 1-5 所示。

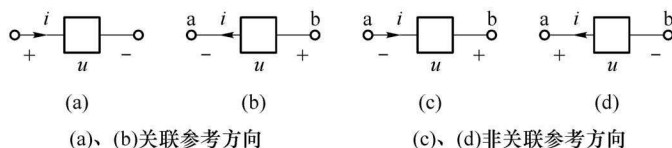


图 1-5 二端元件电流、电压参考方向

为了电路分析和计算的方便，常采用电压电流的关联参考方向，即当电压的参考极性已经规定时，电流参考方向从“+”极性指向“-”极性；当电流参考方向已经规定时，电压参考极性的“+”号标在电流参考方向的进入端，“-”号标在电流参考方向的流出端。

1.2.3 电功率

下面讨论图 1-6 所示二端元件或二端网络的功率。电功率与电压和电流密切相关。当正电荷从元件上电压的“+”极经元件运动到电压的“-”极时，与此电压相应的电场力对电荷做功，这时元件吸收能量；反之，当正电荷从元件上电压的“-”极经元件运动到电压的“+”极时，与此电压相应的电场力对电荷做负功，这时元件向外释放电能。

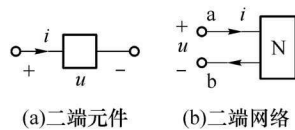


图 1-6 二端元件和二端网络

当电压电流采用关联参考方向时，二端元件或二端网络吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

当电压电流采用非关联参考方向时，二端元件或二端网络吸收的功率为

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

功率的 SI 单位是瓦特(W)。

与电压电流是代数量一样，功率也是一个代数量。不论是用式(1-6)还是用式(1-7)进行计算，当 $p > 0$ 时，表明该时刻二端元件实际吸收(消耗)功率，二端元件为负载；当 $p < 0$ 时，表明该时刻二端元件实际发出(产生)功率，二端元件为电源。

由于能量必须守恒，对于一个完整的电路来说，在任一时刻，所有元件吸收功率的总和必须为零。若电路由 b 个二端元件组成，且全部采用关联参考方向，则

$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0 \quad (1-8)$$

二端元件或二端网络从 t_0 到 t 时间内吸收的电能为

$$W(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi = pt \quad (1-9)$$

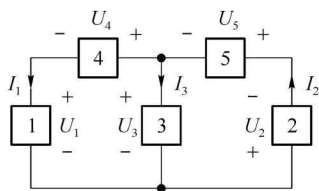


图 1-7 例 1-1 图

例 1-1 在图 1-7 中,五个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向如图 1-7 所示,今通过实验测量得知: $I_1 = -4 \text{ A}$, $I_2 = 6 \text{ A}$, $I_3 = 10 \text{ A}$, $U_1 = 140 \text{ V}$, $U_2 = -90 \text{ V}$, $U_3 = 60 \text{ V}$, $U_4 = -80 \text{ V}$, $U_5 = 30 \text{ V}$ 。

试求:(1)计算各元件的功率,判断哪些元件是电源? 哪些是负载?(2)电源发出的功率和负载吸收的功率是否平衡?

解: (1) 由图 1-7 所示中电压的参考极性和电流的参考方向,计算各二端元件吸收的功率。

元件 1: $P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) = -560 \text{ W}$ (功率为负值,发出功率,元件为电源)。

元件 2: $P_2 = U_2 I_2 = (-90) \times 6 = -540 \text{ W}$ (功率为负值,发出功率,元件为电源)。

元件 3: $P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10 = 600 \text{ W}$ (功率为正值,吸收功率,元件为负载)。

元件 4: $P_4 = U_4 I_1 = (-80) \times (-4) = 320 \text{ W}$ (功率为正值,吸收功率,元件为负载)。

元件 5: $P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6 = 180 \text{ W}$ (功率为正值,吸收功率,元件为负载)。

(2) 电源发出功率: $P_E = 560 + 540 = 1100 \text{ W}$

负载吸收功率: $P = 600 + 320 + 180 = 1100 \text{ W}$

两者平衡。

◆ 1.3 电阻元件 ◆

集总参数电路(模型)由电路元件连接而成,电路元件是为建立实际电气器件的模型而提出的一种理想元件。对电路进行分析和计算,首先必须掌握理想模型元件的性质。

1.3.1 线性电阻

自由电子在金属导体中运动时,导体会对电子运动呈现一定的阻碍作用,这种阻碍作用被称为电阻,其电路符号如图 1-8(a)所示,电阻是二端元件。

当电阻的伏安特性曲线是通过 $u-i$ 平面(或 $i-u$ 平面)原点的一条不随时间变化的直线,该电阻称为线性电阻,如图 1-8(b)所示。当电阻的伏安特性曲线如图 1-8(c)所示,则该电阻称为非线性电阻。

1.3.2 电阻元件的电压与电流的关系

电路元件的电压与电流之间关系简写为 VCR(Voltage Current Relationship)。线性电阻的电压和电流之间的关系服从欧姆定律,就是流过线性电阻的电流与电阻两端的电压成正比,它是分析电路的基本定律之一。根据在电路图上所选电压和电流参考方向的不同,欧姆定律的数学表达式中可带有正号和负号。

在电压和电流取关联参考方向下,其数学表达式为

$$u = Ri \quad (1-10)$$

或

$$i = Gu \quad (1-11)$$

式中, R 和 G 是与 u 和 i 无关的常数; R 称为电阻, 其 SI 单位为欧姆(Ω); G 称为电导, 其 SI 单位为西门子(S), 且 $G = 1/R$ 。

在电压和电流取非关联参考方向下,其数学表达式为

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

或

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

电阻的电压和电流通常采用关联参考方向标示。

线性电阻有两种特殊现象——开路和短路。当一个电阻元件两端的电压无论为何值, 流过它的电流恒为零值时, 称此电阻为开路。开路时的特性曲线与 u 轴重合, 是 $R = \infty$ 或 $G = 0$ 的特殊情况, 如图 1-9(a) 所示; 当流过一个电阻元件的电流无论为何值, 电阻两端的电压恒为零值时, 称此电阻为短路。短路时的特性曲线与 i 轴重合, 是 $R = 0$ 或 $G = \infty$ 的特殊情况, 如图 1-9(b) 所示。

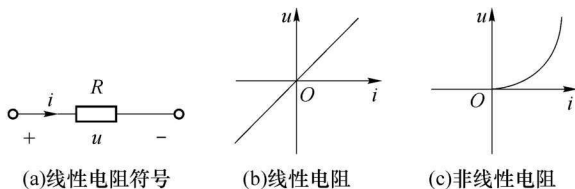


图 1-8 电阻的符号和伏安特性曲线

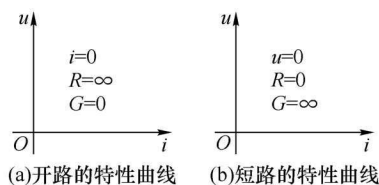


图 1-9 开路和短路的特性曲线

1.3.3 电阻元件的功率与能量

当电阻元件的电压 u 和电流 i 取关联参考方向时, 电阻元件在任一瞬间吸收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = Gu^2 \quad (1-14)$$

式中, R 和 G 都是正实数, 所以功率 $p \geq 0$, 这表明电阻总是吸收功率, 电阻元件是一种无源元件。

电阻元件从 t_0 到 t 的时间内吸收的能量为

$$W = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi \quad (1-15)$$

电阻元件一般把吸收的电能转换成热能消耗掉, 所以电阻元件也称为耗能元件。

例 1-2 各线性电阻如图 1-10 所示, 已知电阻的电压、电流、电阻和吸收功率四个量中的任两个量, 求另外两个量。

解: 根据线性电阻的欧姆定律和功率公式, 可以从电阻的电压、电流、电阻和吸收功率四个量中的任两个量, 求得另外两个量。

$$(a) i = \frac{p}{u} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$

$$R = \frac{u^2}{p} = \frac{5^2}{10} = 2.5 \Omega$$

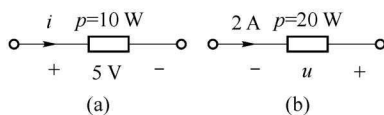


图 1-10 例 1-2 图