

国家示范性高等职业院校核心课程 · 电子电气类
“十一五”规划教材



ianzi Dianqi Lei

电路分析基础

主 编◎廖建文 赵文宣
副主编◎周洪江 侯 涛
李 华 吴晓艳
主 审◎黄俊杰



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内 容 简 介

本书共6章,内容包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法和常用的电路定理、一阶动态电路分析、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器。该书基本概念讲述清晰,易于读者接受理解;基本分析方法讲解透彻,步骤明确,读者易于掌握;思考与练习、习题、自我检查题配置齐全,难易度适中,并且有配套的电子教案,方便学生自学和教师施教。

本教材突出基础性、实用性、知识性和科学的前沿性,特别是增加了 EWB 软件的应用,加深对知识的理解和应用。本书可作为高职高专电子、通信、电气、计算机等专业的教材,同时也可作为中等职业院校相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础 / 廖建文, 赵文宣主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.7

国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材. 电子电气类

ISBN 978-7-5643-0326-6

I. 电… II. ①廖…②赵… III. 电路分析—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第124833号

国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材·电子电气类

电 路 分 析 基 础

主 编 廖建文 赵文宣

*

责任编辑 张华敏

特邀编辑 宋清贵 翟 瑾

封面设计 跨克创意

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm×230 mm 印张: 14.625

字数: 261千字 印数: 1—3 000册

2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0326-6

定价: 25.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

出版说明

进入 21 世纪以来,在国家的高度重视与大力支持下,我国高等职业教育得到了迅猛发展,截止 2007 年底,全国独立设置的高职学院已达 1100 多所,高职教育招生人数和在校生人数均占高等教育招生人数的半壁河山。高职教育在优化高等教育体系结构、促进教育大众化、培养高技能人才,促进并加快地方经济的建设和发展等方面起到了重要作用,作出了重大贡献。但由于我国高等职业教育起步较晚,在高速发展的过程中还存在一些亟待解决的问题,特别是在课程体系和教材形式上,“中专延长型”及“本科压缩型”的影子始终挥之不去,真正适合我国国情的高职课程体系及相应的教材正处在探索与改进之中。

2006 年,我国财政部、教育部启动了国家示范性高等职业院校建设项目,财政部拨出数十亿专项资金在之后三年中重点支持 100 所高等职业院校的建设。示范性高等职业院校建设主要围绕重点专业及专业群的实验/实训条件建设、课程体系及教学内容改革、师资培养三方面开展,其中课程体系及教学内容改革是示范建设的主要内容。为了配合高等职业院校核心专业课程的示范建设,我们在全中国范围内组织了一批高职高专院校,由国家示范性高职院校牵头,组织编写这套电子电气类专业核心课程教材。

重庆工业职业技术学院是 2006 年全国首批 28 所示范高职院校之一,其电气自动化技术专业是国家重点建设专业。2007 年初,由重庆工业职业技术学院电气自动化技术专业牵头,组织重庆工程职业技术学院、重庆电力高等专科学校、四川信息职业技术学院、黑龙江交通职业技术学院、郑州铁路职业技术学院、宜宾职业技术学院、泸州职业技术学院、吉林铁道职业技术学院等十多所高职院校的相关专业教师成立了《国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材》编写委员会,共同编写本套系列教材,从 2008 年开始陆续出版,计划用 1~2 年时间出版 20 本左右教材。为了满足多层次、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

在编写本套教材的过程中,结合示范建设工作的推进,我们反复学习了教育部有关高等职业教育改革的文件精神,多次聆听了教育部领导及国内高职教育专家的讲话,明确了高职教育改革的方向。同时,我们也组织教师到澳大利亚、新加坡、德国、中国香港地区的职业院校进行了学习和交流,广

泛学习和吸收了国际先进的职业教育理念、课程体系、教学内容、教学方法等。通过学习和思考,我们将本套教材编写的指导思想确定为:学习国际职业教育先进经验,结合我国实际情况,针对电气电子类专业特点,突出职业教育与工程实际应用紧密结合,坚持工作过程系统化的课程开发理念和行动导向的教学理念。

本套专业课程教材的突出特点是:以典型的工作任务为载体,按照资讯、决策、计划、实施、检查、评估六个步骤,培养学生的方法能力、专业能力、社会能力。由于电气电子类专业具有就业岗位涉及行业范围广、工作任务技术性强、对学生创新能力要求高等特点,本套教材没有像某些以技能为主的专业一样将专业基础课程的内容解构后与专业课程进行重构,而是基本保持了专业基础课程的构架。在专业基础课程教材的编写中,大量采用了项目导向的教学方法,突出了与工程实际和应用相结合,强化了与后续课程的联系与衔接。我们相信,通过使用本套教材进行教学,既能明显提高学生解决工程实际问题的能力,实现学生毕业与就业的“零距离”,又能为学生可持续发展和创新能力的提高打下坚实的基础。

本系列教材的主要读者群是高职电子电气类专业及相关专业的学生和教师,以及企业相关技术人员。我们希望,本套教材在符合专业培养目标、反映专业教育改革方向、满足专业教学需要的同时,努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材,为高职电气电子类专业的教学质量提高贡献一份力量,为教学改革探索出一条新路。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《国家示范性高等职业院校核心课程
“十一五”规划教材》编写委员会
2008年1月

**《国家示范性高等职业院校核心课程
“十一五”规划教材》编写委员会**

顾 问

徐 益 (重庆工业职业技术学院)
王 华 (吉林铁道职业技术学院)
李惕新 (机械工业第三设计研究院)
刘慕尹 (重庆川仪控制仪表分公司)
苏国成 (重庆川仪一厂)

主任委员 易 谷

委 员 (按姓氏笔画)

毛才局	毛臣健	王树祥	邓 莉	邓书蕾
冉晟伊	田宜驰	伍小兵	伍家洁	刘 赞
刘慰平	向文斌	朱 斌	朱奎林	朱 鸿
严兴喜	何 兵	何 弢	吴晓艳	张 莉
张 辉	张晓琴	张艳红	张渠扬	张慧坤
怀越生	胡昌荣	李 华	李 媛	李 明
李 静	李经智	李茂清	李庭贵	杨启军
肖前军	苏 渊	邱富军	陈 亮	陈 挺
周进民	周洪江	罗德雄	侯 涛	赵文钊
赵文宣	赵淑娟	凌泽明	晏剑辉	徐纯新
徐 健	秦祖铭	秦建生	涂仁喜	贾正松
黄 戎	黄礼超	黄俊杰	龚于庆	蒲晓湘
廖建文	樊明哲	潘 锋	彭伦天	

前 言

“电路分析基础”是高职高专电类专业的重要基础课。本书根据教育部制定的“高等职业教育培养目标和规划”的有关文件精神，突出应用性、针对性，着力培养学生分析问题和解决问题的能力。我们在编写本教材中，做到了精选内容，以“必须、够用”为度，力求体现职教特色，重视实际应用，注意培养学生独立思考、触类旁通的思维能力。在例题和习题的选择上，尽量列举日常生活、生产实际中的现实电路，对例题分析力求做到解题思路简洁、步骤清晰、文字严谨、附图完整，并增加电路仿真软件进行验证，帮助学生深入理解和掌握所学知识。通过该课程的学习，培养学生解决问题的思路，为后续课程的学习和工作打下良好的基础。

本教材参考教学时数为 64~80 学时。全书共六章，每章开始有目标要求，章后有小结，每章配有一定量的习题，旨在对本章内容作出系统、完整的归纳。各学校可根据专业设置要求及学生的实际情况，适当调整教学时数和选择教学内容。

本教材由宜宾职业技术学院廖建文、四川信息职业技术学院赵文宣主编。参加本教材编写的人员如下：四川信息职业技术学院李华（第 1 章）、四川信息职业技术学院赵文宣（第 2 章）、泸州职业技术学院侯涛（第 3 章）、宜宾职业技术学院廖建文（第 4 章）、宜宾职业技术学院黄俊杰（第 5 章）、黑龙江交通职业技术学院周洪江（第 6 章）、四川信息职业技术学院吴晓艳（EWB 软件简介）。全书由廖建文统稿并修改，黄俊杰主审。

由于编者水平所限，书中错误及欠妥之处在所难免，恳请读者和使用本书的同行批评指正。

本书配有电子课件，如有教学需要，可与西南交通大学出版社联系，免费赠送，联系电话：13689090266（张华敏）、（028）87600627（王蕾）。邮箱：zhmjys@163.com。

编 者

2009 年 4 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路和电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	3
1.3 电阻元件	8
1.4 电气设备的额定值	11
1.5 基尔霍夫定律	12
1.6 电路中的电源	16
1.7 电阻的串、并、混联	25
1.8 利用 EWB 软件分析简单直流电路	33
第 2 章 电路的基本分析方法和常用的基本定理	41
2.1 支路电流法	41
2.2 回路电流法	45
2.3 节点电位法	51
2.4 叠加定理和齐次性定理	57
2.5 戴维南定理和诺顿定理	63
2.6 最大功率传输定理	69
2.7 利用 EWB 软件分析线性电阻电路	73
第 3 章 一阶动态电路时域分析	80
3.1 电容元件	80
3.2 电感元件	87
3.3 换路定律	90
3.4 一阶电路的零输入响应	95
3.5 一阶电路的零状态响应	97
3.6 一阶电路的全响应	99
3.7 利用 EWB 软件分析一阶动态电路	101
第 4 章 正弦交流电路的分析	107
4.1 正弦交流电路的基本概念	107
4.2 正弦交流电的相量表示法	115
4.3 三种元件伏安特性的相量形式	119
4.4 RLC 串联电路	133

4.5	RLC 并联电路	135
4.6	谐振电路	140
4.7	正弦交流电路的功率	149
4.8	利用 EWB 软件分析正弦交流电路	156
第 5 章	三相交流电路	167
5.1	三相交流电源	167
5.2	三相负载的连接	170
5.3	三相电路的功率	177
5.4	利用 EWB 软件分析三相交流电路	179
第 6 章	耦合电感元件和理想变压器	185
6.1	磁场与铁磁物质	185
6.2	磁路及磁路定律	186
6.3	互感电路	191
6.4	空芯变压器	199
6.5	理想变压器	202
附 录		210
参考文献		224

第1章

电路的基本概念和定律

本章教学目标

1. 了解电路模型的基本概念。
2. 掌握电路中常见的物理量的概念及特点。
3. 理解和掌握电路中的基本定律——基尔霍夫定律。
4. 掌握电路中常用的直流电源的特性。
5. 理解、掌握并能熟练应用电路等效变换的方法。

本章主要讲述：什么是电路和电路模型，为什么要建立电路模型；如何用参考方向表示电路中的电压和电流；电路中电压和电流必须遵循的基本定律——基尔霍夫定律；重点讲述了构成电路的最基本的元件——电阻元件、电压源和电流源以及它们的特性；进而说明如何运用以上知识进行简单电路的分析计算，着重分析基本的分压和分流电路，进而为后续知识奠定扎实的基础理论。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是为了实现某种需要而将电气设备和元件按一定方式连接起来的总体，是提供电流流通路径的“路”，复杂的电路也常称为“网络”。

图 1.1 是一个最简单的电路——手电筒的实际电路结构示意图，它由电池、开关、灯泡和导线几部分组成。电池是产生电能的元件，将化学能转变成电能；灯泡是消耗电能的元件，将电能转变成光能，开关控制电路的连通和断开；导线起传输电能的作用。

通过观察手电筒的简单电路可以发现,一个完整电路至少由以下几个组成部分:

(1) 电源。它是电路提供能量的设备,其作用是将非电能(如太阳能、风能、水能、化学能等)转换为电能。

(2) 负载。它是电路中消耗电能的设备,可将电能转换为其他形式的能量。

(3) 中间环节。它的作用是连接电源和负载的设备,可实现能量的传输、分配和控制。

上述三部分称为组成电路的三个基本要素。

一个电路可根据其工作情况呈现出以下三种状态:

(1) 通路: 开关闭合, 构成闭合回路, 电路中有电流流过。

(2) 断路(开路): 开关断开或电路中某处断线, 电路中无电流。

(3) 短路: 电源或用电设备不应该接触或连接的地方被连接起来的现象。例如, 电源正、负极直接用导线相连, 导致电路中电流很大, 严重时可烧毁设备; 在实际工作中, 严禁短路现象的发生。

实际应用中的电路种类繁多, 用途各异, 但按其功能可概括为两个方面: 一是对能量的传输、转换和分配, 电力系统中的输电电路就是典型实例; 二是完成信号的产生、传输、处理及应用, 通信系统就是建立在信息的发送者和接收者之间用来完成信息的处理和传递的实际电路。

1.1.2 电路模型

组成实际电路的元(器)件种类很多, 性能也不尽相同, 如果都用实际电路去分析, 将是十分复杂的。所以, 为了便于对电路进行分析与计算, 在理论分析中, 常采用一些简单又能够表征电路主要电磁性质的多个理想化的电路元件(circuit element)来代替实际元(器)件, 就构成了与实际电路相对应的电路模型。将电路模型用规定的理想元件符号在平面上形成的图形称作电路图, 图 1.2 便是图 1.1 所示电路的电路模型图。

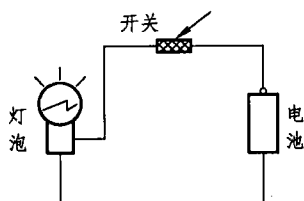


图 1.1 手电筒的实际电路

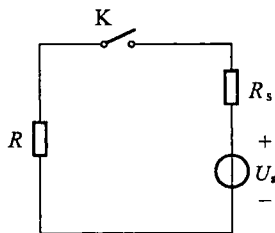


图 1.2 电路模型图

1.2 电路的基本物理量

本节主要讨论电路的基本物理量：电流、电压、功率和能量。对这些基本物理量应重点理解它们的定义、大小、单位等。

1.2.1 电流

1. 电流和电流强度的定义

一个物体所带电量的多少称为电量，用符号 Q 或者 q 表示。在国际单位制中，电量的单位是库仑 (C)，1 库仑相当于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。而电荷的定向移动就形成了电流，由于电荷有正、负之分，习惯上规定电流方向为正电荷定向移动方向。电流的大小用电流强度来表示，电流强度的定义是单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度又可简称为电流，用符号 I 或 i 表示，表达式为：

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

在国际单位中，电流的单位是安培 (A)，即当电流是 1 A 时，表示每秒有 1 C 的电荷量流过导体的横截面。常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA)、纳安 (nA) 等，它们的换算关系是：

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^{12}\text{nA}$$

如果电流的大小和方向不随时间变化，这种电流称为恒定电流，简称直流 (dc 或 DC)，用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电 (ac 或 AC)，简称交流，常用符号 i 表示。

2. 电流的参考方向

对于一些复杂电路，在计算之前难以判断各元件电流的方向，对每个元件的电流规定了一个假定的正方向，叫做参考方向。按规定的参考方向写表达式，如果电流计算结果为正值则说明该电流真实方向与参考方向相同；如果计算结果为负值，说明电流真实方向与参考方向相反。

例 1.1 如图 1.3 所示中， a 、 b 、 c 三个方框表示三个元件或电路，箭头表示电流的参考方向。用 i_a 、 i_b 、 i_c 表示电路中电流。说明当 $i_a = i_b = i_c = 1\text{A}$ 和当 $i_a = i_b = i_c = -1\text{A}$ 时各电路电流的真实方向。

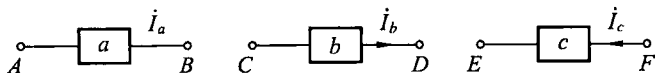


图 1.3 例 1.1 图

解

(1) 当电流大小均为 1 A 时, 电流大于零, 其真实方向与参考方向相同, 即 i_a 由于没有参考方向而无法确定其实际方向; i_b 的真实方向是由 C 流向 D ; i_c 的真实方向是由 F 流向 E 。

(2) 当电流大小均为 -1 A 时, 电流小于零, 其真实方向与参考方向相反, 即 i_a 由于没有参考方向而无法确定其实际方向; i_b 的真实方向是由 D 流向 C ; i_c 的真实方向是由 E 流向 F 。

本例说明电流的真实方向是由电流的参考方向和电流强度数值的符号共同决定的, 缺一不可, 如果不规定电流的参考方向, 电流数值的正、负没有任何意义。

1.2.2 电压、电位、电动势

1. 电压

电荷的定向移动是依靠能量转换和做功实现的。若单位正电荷从 a 点移动到 b 点, 如果电场力做正功, 则单位正电荷电势能减少, 电势能减少的数量称为 a 、 b 两点间的电压, 常用符号 u 表示, 表达式为:

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

式中, 分母表示移动的电荷量, 单位为库仑 (C), 分子为移动过程中电荷量减少的电势能 (电场力做的正功), 单位为焦耳 (J)。电压的单位为伏特 (V), 则 $1\text{ V} = 1\text{ J/C}$, 表明当电路某两点间电压是 1 V 时, 在该电路上每通过 1 C 电量, 电场力做功 1 J 。这些单位均为国际单位制单位, 常用的电压单位还有毫伏 (mV), 换算关系为:

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

对于外电路, 电压的真实方向规定为正电荷的运动方向, 如果正电荷经负载由 A 点向 B 点移动, 若用箭头表示 A 、 B 间的方向, 则箭头由 A 指向 B ; 若用正负号表示, 则 A 为 “+”, B 为 “-”。

如果电压的大小和极性不随时间变化, 这种电压称为直流电压, 用符号 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化, 则称为交流电压, 常用符号 u 表示。

2. 电位

单位正电荷在电路中某点(如 A 点)所具有的点位能称为该点的电位, 常用 V_A 表示。电位在数值上被定义为: 电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点(零电位点或接地点——电位为零)所做的功。在电路分析中, 常用字母 v 表示变化的电位, 用 V 表示恒定电位。

电位和电压有着内在的联系, 电路中某点电位又可理解为该点与参考点间的电压, 电压也可以理解为电路中两点电位之差, 故电位单位也为伏特(V)。

例 1.2 如图 1.4 所示中, 电源电压为 2 V , 电阻值均为 $1\text{ k}\Omega$, 若分别以 A 、 B 、 C 为参考点(即 $V_B=0$)试写出 A 、 B 点间的电压值。

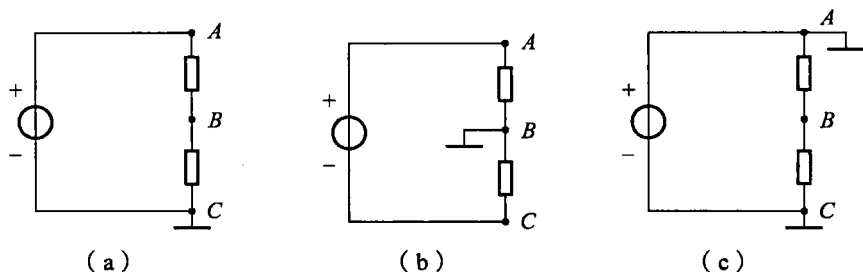


图 1.4 例 1.2 图

解 由电路图可知, 对于图 (a), 以 C 为参考点, 则 $V_C=0$, A 、 B 两点间的电压为:

$$U_{AB} = V_A - V_B = 2 - 1 = 1\text{ V}$$

对于图 (b), 以 B 为参考点, 则 $V_B=0$, A 、 B 两点间的电压为:

$$U_{AB} = V_A - V_B = 1 - 0 = 1\text{ V}$$

对于图 (c), 以 A 为参考点, 则 $V_A=0$, A 、 B 两点间的电压为:

$$U_{AB} = V_A - V_B = 0 - (-1) = 1\text{ V}$$

3. 电动势

电动势是特殊的电压, 是对电源而言的。在电源外部, 正电荷在电场力的作用下不断从电源正极流向负极, 如果没有外力的话, 电源正极正电荷的

减少会使电位逐渐降低,而电源负极因正电荷的增多电位不断上升,故电源正、负极间的电位差就会减小,最后为零。为了使电源持续向外电路提供电压降,则必须有外力参与,把正电荷拉回电源正极。在这一过程中,外力克服电场力做功,为非电场力,我们称其为电源力。为了衡量电源力对正电荷做功的能力,引入了电动势的概念。电动势定义为:电源力将单位正电荷从电源负极移动到电源正极所做的功,变化的电动势用小写字母 e 表示,恒定电动势用大写字母 E 表示,即:

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

电动势的真实方向规定为电源内部正电荷运动的方向。若用箭头表示其方向,则由电源负极指向正极,电动势的单位与电压相同,也是伏特 (V)。

4. 关联参考方向

在分析电路时,既要为通过元件的电流假设参考方向,也要为元件两端的电压假设参考极性,彼此可以独立无关的任意假定。但为了方便起见,常采用关联参考方向,使电流参考方向和电压降的参考极性一致,即表示电流参考方向的箭头,由参考方向的“+”极指向“-”极,如图 1.5 所示。如果说明采用关联参考方向,在电路中只需标出电流的参考方向或电压的参考极性中的任意一种即可,如图 1.5 (b)、(c) 所示。采用关联参考方向,也称为电流和电压的正方向(参考方向)一致或称为电压、电流相关联。

例 1.3 试说明在图 1.6 中所标注的 u 与 i 的参考方向对元件 A 和 B 而言是关联还是非关联。

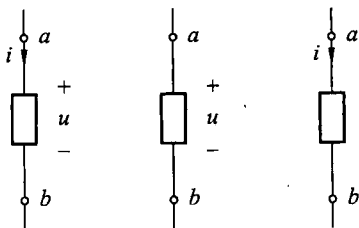


图 1.5 关联参考方向

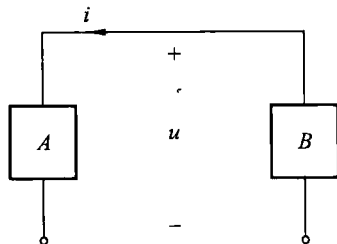


图 1.6 例 1.3 图

解 图 1.6 所示的参考方向,对于元件 A 而言,电流 i 从 u 的正极流入,

从负极流出, 为参考方向关联; 对元件 B 而言, i 是从电压 u 的负极流入, 正极流出, 为参考方向非关联。

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

如前所述, 在 dt 时间内, 正电荷 dq 在电场力作用下, 经外电路从 A 点到达 B 点所做的功为 $dW(t)$, 则在单位时间内电场力所做的功定义为 $p(t)$, 称为电功率, 即:

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1-4)$$

由电压和电流的定义, 可得:

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1-5)$$

这说明, 当电流、电压取相关联的方向时, 电路吸收的功率等于 u 与 i 的乘积。由此可见, 当 u 、 i 的参考方向一致时, 若求得 $p > 0$, 则电路吸收功率, 若 $p < 0$, 则电路发出功率; 当 u 、 i 的参考方向不一致时, 若求得 $p > 0$, 则电路发出功率, 若 $p < 0$, 则电路吸收功率。

对直流电流和直流电压而言, 电功率计为 P , 则:

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

功率的国际单位是瓦特, 简称为瓦 (W):

$$1 \text{ W} = 1 \text{ 伏安 (V} \cdot \text{A)} = 1 \text{ 焦耳 / 秒 (J/s)}$$

上式表明, 当电路中流过的电流为 1 A , 电路两端的电压为 1 V 时, 该电路的电功率为 1 W 。

对于大功率, 常采用千瓦 (kW) 或兆瓦 (MW) 作单位; 对于小功率, 采用毫瓦 (mW) 或微瓦 (μW) 作单位。

2. 电能

在一段时间 dt 内, 电场力移动正电荷所做的功 dW 称为电场能, 简称电能, 其表达式为:

$$dW = p(t)dt \quad (1-7)$$

电能的国际单位为焦耳, 简称焦 (J), $1 \text{ 焦耳 (J)} = 1 \text{ 瓦特} \cdot \text{秒 (W} \cdot \text{s)}$ 。

日常生活中常用“度”衡量所使用电能的多少, 功率为 1 kW 的设备用电 1 小时所消耗的电能 1 度, 即:

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{小时} (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-8)$$

1.3 电阻元件

1.3.1 欧姆定律

对于任何元件, 加在元件上的电压和流过元件的电流必然存在一个函数关系。1862 年, 德国科学家欧姆通过科学实验总结出: 二端耗能元件 (如电炉、白炽灯) 上的电压 $u(t)$ 与电流 $i(t)$ 成正比, 即

$$u(t) = R i(t) \quad (1-9)$$

式中, R 是比例常数。这一规律称为欧姆定律。

上式是在电压和电流关联参考方向下欧姆定律的表达式。若二端耗能元件上的电压和电流方向非关联, 则表达式为

$$u(t) = -R i(t)$$

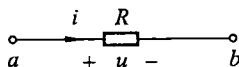
在电路分析中, 正电阻元件上电压与电流的真实方向必然关联。

欧姆定律体现了元件对电流阻碍的本质。电流流过元件时运动电荷会与元件中的原子及正离子发生碰撞, 运动受阻。元件对电流的阻碍作用是由本身属性决定的。

由于欧姆定律表达式中的比例常数 R 就是表征导体对电流呈阻碍作用的电路参数, 称为“电阻”。具有电阻性质的二端元件称为电阻元件, 简称电阻。 R 为电阻元件的电阻值, 电阻元件的图形符号如图 1.7 (a) 所示, 实际电阻器见图 1.7 (b)。电阻的国际单位为欧姆, 简称欧, 用符号“ Ω ”表示。电阻其他常用的单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 等。

$$1 \text{ 欧姆} (\Omega) = 1 \text{ 伏特} / \text{安培} (\text{V} / \text{A})$$

上式表明: 电阻元件上的电压为 1 V, 通过电阻的电流为 1 A 时, 该电阻的电阻值便是 1 Ω 。



(a) 图形符号



(b) 实际电阻器

图 1.7 电阻的图形符号及实际电阻器

从欧姆定律可以看出, 流过电阻的电流与加在电阻上的电压成正比, 与电阻的阻值成反比。

1.3.2 电阻、电导及伏安特性

1. 电阻定律

电阻定律: 电阻的大小与流过电阻电流和电阻两端电压没有关系, 主要由本身的物理条件决定。

对于均匀界面的金属导体, 在温度不变时, 导体的电阻与导体的长度成正比, 与横截面积成反比, 即:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中, l 为导体的长度, 单位为米 (m); S 为导体的横截面积, 单位为平方米 (m^2); ρ 为导体的电阻率, 单位为欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$), 也可以用 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (面积单位用 mm^2); R 为导体的电阻, 单位为欧姆 (Ω)。

不同的材料有不同的电阻率, 表 1-1 中列出了常用电工材料在 20°C 时的电阻率。

表 1-1 几种常用材料的电阻率和温度系数

材料	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) (20°C)	温度系数 α (20°C)
银	0.159	0.003 80
铜	0.017 5	0.003 93
铝	0.028 3	0.004 10
铁	0.097 8	0.005 0
钨	0.057 8	0.005 1
康铜	0.48	0.000 008
锰铜	0.47	
黄铜	0.07	0.002
镍镉合金	1.09	0.000 16
铁铬合金	1.26	0.000 28

2. 温度对电阻的影响

导体的电阻除了与长度、横截面积、材料有关外, 还与温度有关。许多金属当温度升高时, 金属正离子的热运动加剧, 自由电子通过金属时与正离子碰撞的机会增大, 电阻变大。也有的金属当温度升高时, 外层电子能量增