

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

电路分析

余建群 主 编

黄昌志 饶蜀华 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

电 路 分 析

余建群 主 编
黄昌志 饶蜀华 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是根据国家教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》，并结合我们长期讲授该门课程的经验，为电子信息类各专业高职高专学生编写的教材。全书共分 11 章，主要内容有：电路元件和电路定律、电路分析的等效变换法、电路分析的一般方法、电路分析的基本定理、正弦稳态电路基础、正弦稳态电路分析、三相电路、互感耦合电路、动态电路分析、二端口网络、非正弦周期电流电路分析。全书按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写，基本概念讲述清楚，基本分析方法归类恰当，思路清晰，步骤明确，叙述简练，通俗易懂，重点突出。

本书可作为高等专科学校、高等职业技术学院、成人高等学校及本科院校举办的专科教育、二级职业技术学院和民办高等学校的电气类、电子类、通信类、信息类、自动控制类、计算机类各专业的电路理论课教材，也可供其他专业和有关科技人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/余建群 主编. —北京:科学出版社, 2006

(高等职业教育人才培养创新教材出版工程)

ISBN 7-03-017246-9

I. 电… II. 余… 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(2006)第 049509 号

责任编辑:胡华强 刘 韩 / 责任校对:鲁 素

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

丽 源 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 8 月第一次印刷 印张: 23 3/4

印数: 1—4 500

字数: 451 000

定价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

主任委员

陈传伟 成都电子机械高等专科学校副校长

副主任委员

汪令江 成都大学教务处长

李学锋 成都航空职业技术学院教务处长

季 辉 成都电子机械高等专科学校教务处长

林 鹏 科学出版社副总编辑

委 员

黄小平 成都纺织高等专科学校教务处长

凤 勇 四川交通职业技术学院教务处长

丁建生 四川工程职业技术学院教务处长

郑学全 绵阳职业技术学院教务处长

彭 涛 泸州职业技术学院教务处长

秦庆礼 四川航天职业技术学院学术委员会主任

谢 婧 内江职业技术学院教务处副处长

胡华强 科学出版社高等教育分社社长

出版说明

为进一步适应我国高等职业教育需求的迅猛发展,推动学校向“以就业为导向”的现代高等职业教育新模式转变,促进学校办学特色的凝炼,高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会本着平等、自愿、协商的原则,开展高等院校间的高等职业教育教材建设协作,并与科学出版社合作,积极策划、组织、出版各类教材。

在教材建设中,编委会倡导以专业建设为龙头的教材选题方针,在对专业建设和课程体系进行梳理并达成较为一致的意见后,进行教材选题规划,提出指导性意见。根据新时代对高技能人才的需求,专门针对现代高等职业教育“以就业为导向”的培养模式,反映知识更新和科技发展的最新动态,将新知识、新技术、新工艺、新案例及时反映到教材中来,体现教学改革最新理念和职业岗位新要求,思路创新,内容新颖,突出实用,成系配套。

教材选题的类型主要是理论课教材、实训教材、实验指导书,有能力进行教学素材和多媒体课件立体化配套的优先考虑;能反映教学改革最新思路的教材优先考虑;国家、省级精品课程教材优先考虑。

这批教材的书稿主要是通过教学实践、师生反应较好的讲义中经院校推荐,由编委会择优遴选产生的。为保证教材的出版和提高教材的质量,作者、编委会和出版社作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作可能仍有不足之处,希望使用教材的学校及师生积极提出批评和建议,共同为提高我国高等职业教育教学、教材质量而努力。

高等职业教育人才培养创新教材出版工程

四川编委会

2004年10月20日

前 言

本书是高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会与科学出版社共同确定的首轮出版教材之一。为了进一步适应我国高等职业教育需求的迅猛发展,推动学校向“以就业为导向”的现代高等职业教育新模式转变,促进学校的办学特色,根据国家教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》,并结合我们长期讲授该门课程的经验,为电子信息类各专业高职高专学生编写了这本《电路分析》教材。

本书以电路分析最基本的三部分内容:电阻电路分析、正弦稳态电路分析和动态电路分析为编写主体,并充分注意到高职高专学生数理基础的实际。教材内容以适量、够用为度,不贪多求难。全书按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写,基本概念讲述清楚,基本分析方法归类恰当,思路清晰,叙述简练,通俗易懂,重点突出。对于电路的分析求解,做到步骤清楚,结果正确。书中编排了较多的典型例题和思考题,每章结尾还安排了本章小结和适量的习题,且习题附有答案,以帮助学生自学和掌握基本概念、基本理论和基本分析方法。为加强实验环节,培养学生的实际动手能力和激发学生的学习兴趣,每章结束还提出了本章实训要求,不同学校和专业可根据实际情况选做部分实验。

本书可作为高等专科学校、高等职业技术学院、成人高等学校及本科院校举办的专科教育、二级职业技术学院和民办高等学校的电气类、电子类、通信类、信息类、自动控制类、计算机类各专业的电路理论课教材,也可供其他专业和有关科技人员学习参考。

书中标有“*”号的章节,属于加宽或加深的内容,供不同学校和专业选用。

本书由成都学院(原成都大学)余建群副教授任主编,负责全书的组织策划、修改补充、统稿和定稿工作,并编写第9、11章;四川航天职业技术学院黄昌志副教授和成都航空职业技术学院饶蜀华副教授任副主编,黄昌志编写第3、4、10章;饶蜀华编写第5、6章,并参加部分章节的修改和统稿工作;内江职业技术学院张果羽编写第1、2章;成都航空职业技术学院梁颖编写第7、8章。

在本书的编写出版过程中,得到了科学出版社、高等职业教育人才培养创新教材出版工程四川编委会、成都学院(原成都大学)、四川航天职业技术学院、成都航空职业技术学院、内江职业技术学院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中难免有缺陷和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2006年1月

目 录

出版说明

前言

第 1 章 电路元件和电路定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.2 电路中的基本物理量	4
1.3 独立电源.....	10
1.4 电阻元件与欧姆定律.....	11
1.5 基尔霍夫定律.....	14
本章小结	18
本章实训要求	19
习题 1	19
第 2 章 电路分析的等效变换法	23
2.1 电阻的串、并联等效	23
2.2 独立电源的串、并联等效	31
2.3 实际电源的两种模型及其等效变换.....	33
2.4 电阻的 Y 形连接与 Δ 形连接的等效变换	38
本章小结	42
本章实训要求	42
习题 2	42
第 3 章 电路分析的一般方法	46
3.1 支路电流法.....	46
3.2 网孔电流法.....	52
3.3 节点电压法.....	58
3.4 受控源及含受控源的电路分析.....	64
3.5 含运算放大器的电路分析.....	74
本章小结	80
本章实训要求	81
习题 3	81
第 4 章 电路分析的基本定理	86
4.1 叠加定理.....	86
4.2 戴维南定理和诺顿定理.....	92

4.3 最大功率传输定理	103
4.4 替代定理	107
本章小结	112
本章实训要求	113
习题 4	113
第 5 章 正弦稳态电路基础	118
5.1 正弦量的基本概念	118
5.2 正弦量的相量表示	124
5.3 电路定律的相量形式	131
5.4 电阻元件电压电流关系的相量形式	131
5.5 电容元件及其电压电流关系的相量形式	133
5.6 电感元件及其电压电流关系的相量形式	142
本章小结	148
本章实训要求	150
习题 5	150
第 6 章 正弦稳态电路分析	153
6.1 RLC 串联电路分析	153
6.2 RLC 并联电路分析	159
6.3 阻抗与导纳的等效互换	165
6.4 正弦稳态电路的相量分析法	167
6.5 正弦稳态电路的功率	171
6.6 功率因数的提高和最大功率传输	182
6.7 串联谐振	187
6.8 并联谐振	195
本章小结	197
本章实训要求	200
习题 6	201
第 7 章 三相电路	206
7.1 三相电源	206
7.2 三相负载	210
7.3 对称三相电路的计算	213
7.4 三相电路的功率	218
7.5 不对称三相电路的计算	223
本章小结	227
本章实训要求	228
习题 7	228
第 8 章 互感耦合电路	231

8.1 耦合电感	231
8.2 耦合电感的联接	238
8.3 空心变压器电路分析	245
8.4 理想变压器电路分析	250
本章小结	259
本章实训要求	261
习题 8	261
第 9 章 动态电路分析	265
9.1 换路定律及其初始值的确定	265
9.2 一阶电路的零输入响应	271
9.3 直流一阶电路的零状态响应	282
9.4 直流一阶电路的全响应	288
9.5 直流一阶电路的三要素法	291
* 9.6 一阶电路的阶跃响应	301
9.7 正弦激励下一阶电路的全响应	306
9.8 二阶电路的零输入响应	308
本章小结	315
本章实训要求	316
习题 9	316
第 10 章 二端口网络	323
10.1 二端口网络的方程和参数	324
10.2 二端口网络的等效电路	331
10.3 二端口网络的联接	332
本章小结	334
本章实训要求	334
习题 10	335
第 11 章 非正弦周期电流电路分析	338
11.1 非正弦周期信号的分解	338
11.2 平均功率的叠加、非正弦量的有效值和平均值	345
11.3 非正弦周期电流电路分析	349
本章小结	357
本章实训要求	358
习题 11	358
参考文献	360
部分习题答案	361

第1章 电路元件和电路定律

内容提要

本章主要介绍电路的组成,电路模型的概念,电路中的电流、电压、功率、电位等基本物理量,还将介绍电阻元件和独立电源等电路元件,最后介绍基尔霍夫定律。

学习本章要重点掌握以下内容:正确理解电流、电压的参考方向及其关联参考方向的概念;掌握理想电压源和理想电流源的伏安特性;熟练掌握欧姆定律和基尔霍夫定律。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的组成与功能

电在工业、农业、国防、科研以及日常生活中有着十分广泛的应用,发挥着巨大的作用。随着科学技术的发展,现代电工电子设备不但种类繁多,而且日新月异,但无论怎样设计和制造,它们都是由各种各样的电路所组成的。电路是由电子器件(如晶体二极管、晶体三极管)和电路元件(如电阻器、电容器、电感器)按一定方式组合而成的电流的通路,是人们为达到某种目的而设计的。也可以说电路是电流通过的路径。在实际生活和工作中,有些电路很复杂,例如,计算机、电视机、大规模集成电路等,内部可以有上千万个元器件。有些电路则很简单,例如,手电筒电路。复杂的电路又称为网络。但无论简单电路还是复杂电路,其基本组成一般包括三个部分:电源、负载和中间环节。

(1) 电源是向电路提供电能的设备,它可以将其他形式的能量(如化学能、热能、机械能及原子能等)转变为电能。在电路中,电源是维持电路中电流流动的源动力。实际电源有干电池、蓄电池、太阳能电池、发电机等。

(2) 负载是电路中取用电能并进行能量转换的设备,通常把负载称为用电器,它可以将电能转换为其他形式的能量。如白炽灯可以将电能转变成光能和热能,电动机可以将电能转换为机械能,充电的蓄电池可以将电能转换为化学能。

(3) 中间环节的作用是连接电源和负载,用来传输和分配电能、控制和保护用电设备。主要包括:连接导线,传输控制电路,保护电路等。

图1-1(a)所示是一个实际的手电筒电路,当开关闭合后,在闭合的通路中便

有电流流过,于是小灯泡发光。这是一个最简单的电路,图中的干电池是电源,小灯泡是负载,开关和导线构成中间环节。

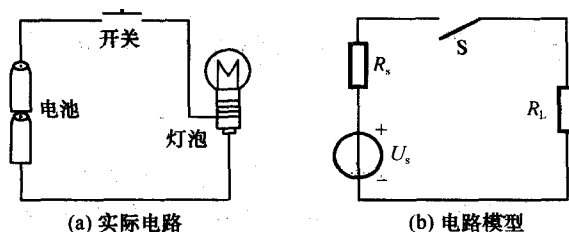


图 1-1 手电筒电路

一个电路可以呈现出三种状态:①通路:开关接通,构成闭合回路,电路中有电流;②开路或断路:开关断开或电路中某处断线,此时电路中无电流;③短路:电路中不应该连接的地方被连接起来了,此时电路中电流往往很大,在实际中应严禁短路现象的发生。

实际电路的种类繁多,但就其功能来说可以概括为两个方面:其一,是进行能量的产生、传输、分配与转换,如电力系统中的发电、输电电路;其二,是实现信号的

产生、传递、变换、处理与控制,如日常生活中使用的电话、收音机、电视机电路。如图 1-2 所示收音机电路方框图,接收天线把载有语言、音乐信息的电磁波接收后,通过接收机电路把输入信号(又称激励)变换或处理为人们所需要的输出信号(又称响应),送到扬声器,还原为语言、音乐供人们收听。

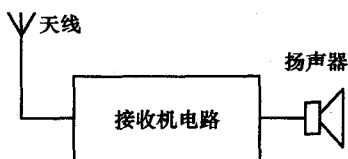


图 1-2 收音机电路方框图

1.1.2 电路模型

在电路分析中如果都用实际电路去分析,将是十分复杂的。为了便于对电路进行分析和计算,常将实际元件在一定的条件下,做近似化、理想化的处理,从而得到理想元件,并用规定的特定符号去表示。由理想元件互相连接而成的电路称为实际电路的电路模型。

实际电路中使用的电路元件一般都和电能的消耗现象以及电能、磁能的储存现象有关,它们交织在一起并发生在整个元件中。这里所讲的“理想化”是指:假定这些现象可以分别研究,并且这些电磁过程都分别集中在各元件内部进行。这样的元件就称为集总参数元件,由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路(lumped circuit)。集总参数电路是满足一定条件下的电场磁场问题的简化,也就是说,用集总参数电路模型来描述实际电路是有条件的,它要求实际电路的尺寸 l

(长度)要远小于电路工作时其最高工作频率所对应的波长 λ ,即

$$l \ll \lambda \quad (1-1)$$

集总参数电路的特点是:电流在电路中流动不需要时间,它可以同时到达电路中的各处;没有任何电、磁能量辐射,电磁能量的消耗、储存都集中在元件内部进行,这时整个电路可以看成电磁空间的一个点。若不满足式(1-1)的集总假设条件,实际电路便不能用集总参数电路来处理,只能按分布参数电路处理。本书只讨论集总参数电路。

当实际电路满足式(1-1)条件时,可以定义出几种“集总参数元件”,用来构成实际元器件的模型。每一种集总参数元件只反映一种电磁现象,并可给出精确的数学定义,因此又称为理想元件。例如,定义的理想电阻元件只反映电能的消耗现象,理想电容元件只反映电场能的储存现象,理想电感元件只反映磁场能的储存现象。此外,还有理想电压源、电流源等多种理想元件(以后均简称元件)。在一定的工作条件下,有些元器件的模型较简单,只需用一种元件表示;而有些元器件的模型则较复杂,需要用几种元件组合构成模型^①。图1-1(a)所示的电路中,灯泡的电感是极其微小的,可以用一个电阻元件 R_L 作为它的模型,而干电池的模型则由电压源 U_s 和电阻元件 R_s (反映电池的内阻)串联组成,如图1-1(b)所示。因此,图1-1(b)便是图1-1(a)的电路模型,简称电路图。图中用到电阻、电压源和理想开关的元件图形符号。其他元件的图形符号将陆续介绍。

今后本书所说的电路均是指由理想元件构成的电路模型,而非实际电路。在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导体”连接起来的。根据端子的数目,理想电路元件可分为二端元件、三端元件、四端元件等。

电路是多种多样的,功能也各不相同,但是它们是受共同的基本规律支配的,正是在这种共同规律的基础上,形成了“电路理论”这门学科。“电路分析”属“电路理论”学科,它主要探讨电路的基本定律和定理,并讨论电路的各种分析和计算方法,以及一些基本性质,为学习电类专业和进一步学习电路理论,建立必要的理论基础。

思考题

- 1-1 电路的功能有哪些? 试举实例说明。
- 1-2 为什么在电路理论中要用到电路模型的概念?
- 1-3 在电路中如何区分电源和负载? 试指出图1-2所示电路的三个组成部分。

^① 如何建立实际元件模型的问题需要专门研究,本书不作介绍。

1.2 电路中的基本物理量

电路中的基本物理量有电流、电压和功率,有时也涉及能量、电荷、电位等变量。在对电路进行分析、计算之前,需要先弄清楚这些物理量的定义、大小、方向、单位等一些基本概念。

1.2.1 电流

导体中存在着可以自由运动的带电粒子,比如,金属导体中电子可以自由移动,电子带负电荷,不能自由移动的质子带正电荷。带电粒子所带电荷的多少称为电量(用 q 或 Q 表示),在国际单位制中(SI 制)电量的单位是库仑(其符号为 C),规定 6.24×10^{18} 个电子所具有的电量为 1 库仑。

导体中电荷的定向移动便形成电流,习惯上把电流的方向规定为正电荷定向移动的方向。显然,金属导体中电流的方向与自由电子的定向移动方向相反。电流的大小称为电流强度,简称电流,将单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流,用符号 $i(t)$ 表示,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安(其符号为 A)。在电力系统中常用较大的单位:千安(kA),在无线电技术中常用较小的单位:毫安(mA)和微安(μ A)。它们与安培(A)的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3 \text{A}$$

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

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

我们把大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流,也称为恒定电流,简称直流,记作 DC(direct current),用符号 I 表示;否则称为时变电流。如果时变电流的大小和方向都随时间作周期性变化,则称为交变电流,简称交流,记作 AC(alternating current),用符号 $i(t)$ 表示。

在任一电路中,电流的方向是客观存在的。对一些简单电路,电流的实际方向是显而易见的,在图 1-1(b)中,电流是从电源正极流出,通过开关、灯泡,流向电源的负极。但在一些复杂的电路中,电流的实际方向有时是难以确定的,若不知道电流的方向也就无法对电路进行分析和计算。为了解决这一困难,引入了参考方向的概念。当不知道电流的实际方向时,可以先任意假设一个方向作为电流的参考方向,并在电路图中用箭头标注出来,如图 1-3 所示。在电路分析时就以这个假定的方向进行分析和计算,根据计算结果的正负值再结合电流的参考方向就可以确

定电流的实际方向。若求得的电流为正值,则说明电流的实际方向与参考方向相同;若求得的电流为负值,则说明电流的实际方向与参考方向相反。假定电流的参考方向后,电流就为一个代数量,显然,在未标注参考方向的情况下,电流的正负是毫无意义的。以后在电路中,只需标出电流的参考方向,毋需根据计算结果再去标注实际方向。即电路图中所标的电流方向都是参考方向。

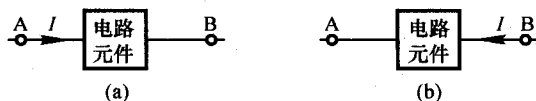


图 1-3 电流的参考方向

在图 1-3(a)中,如果 $I=10\text{A}$,则表示该电流的大小为 10A ,电流实际方向与参考方向相同,即电流从 A 到 B。同样,如果 $I=-4\text{A}$,则表示该电流的大小为 4A ,电流实际方向与参考方向相反,即电流从 B 到 A。

在图 1-3(b)中,如果 $I=6\text{A}$,则表示该电流的大小为 6A ,电流实际方向与参考方向相同,即电流从 B 到 A。同样,如果 $I=-8\text{A}$,则表示该电流的大小为 8A ,电流实际方向与参考方向相反,即电流从 A 到 B。

1.2.2 电压

电荷在电路中移动,电场力对电荷要做功,从电场力做功的概念定义,电路中 A、B 两点的电压(voltage)定义为电场力将单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功,如图 1-4 所示。用符号 $u(t)$ 表示电压,其数学表达式为

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

式中, dq 为由 A 点移至 B 点的电荷量,单位为库仑(C); dw 是电场力移动电荷 dq 所做的功,单位为焦耳(J)。电压的单位是伏特(V)。在电力系统中常用较大的电压单位:千伏(kV);在无线电技术中常用较小的单位:毫伏(mV)和微伏(μV)。

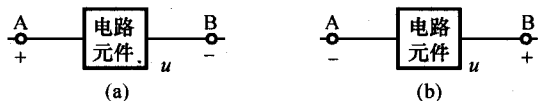


图 1-4 电压的参考方向

在电路中,还经常用到电位(potential)的概念,此时需要事先选定一个参考点,即零电位点。理论上,零电位点可以任意选取,但在实际应用中一般选大地作为零电位点,也可用仪器设备的外壳作为零电位点,在电子技术中又常选用公共点作为零电位点。当参考点选定以后,电路中某一点到参考点的电压就称为该点的

电位。电位仍用字母 u 表示,如 A 点的电位记为 u_A ,电位的单位与电压相同,即为伏特(V)。电位的数值具有明显的相对性,电路中各点电位的高低是对选定的参考点而言的。显然,任意两点的电位之差就是这两点之间的电压。即

$$u_{AB} = u_A - u_B \quad (1-4)$$

电压和电流一样,不但有大小,而且有方向。习惯将电位真正降低的方向规定为电压的实际方向,即由高电位端指向低电位端。

在分析电路时,某些元件或某两点电压的实际方向往往是难以确定的,此时与电流的处理方法一样,也需要为电压假设参考方向(也称参考极性)。电压的参考方向在元件或电路的两端用“+”、“-”符号表示^①。“+”号表示高电位端(正极性端),“-”号表示低电位端(负极性端),正极指向负极的方向就是电压的参考方向,如图 1-4 所示,图 1-4(a)中该元件电压的参考方向为 A 指向 B,图 1-4(b)中该元件电压的参考方向为 B 指向 A。同样,根据假定的电压参考方向去分析和计算电路,若算得电压 u 为正值,则说明 u 的实际方向与参考方向相同;若算得 u 为负值,则说明 u 的实际方向与参考方向相反。

对于图 1-4(a),如果电压 $u=20\text{V}$,则表示该电压的大小为 20V,实际方向与参考方向相同,即 A 点电位比 B 点电位高 20V。同样,如果电压 $u=-5\text{V}$,则表示该电压的大小为 5V,实际方向与参考方向相反,即 B 点电位比 A 点电位高 5V。

如果电压的大小和方向都不随时间变化,则称其为直流电压(DC voltage),常用大写的 U 表示,如果电压的大小和方向都随时间变化,则称其为时变电压,若变化为周期性则称为交变电压(AC voltage),用符号 $u(t)$ 表示。

参考方向是进行电路分析、计算的一个重要概念。在使用参考方向时需要注意以下几个问题。

(1) 电流、电压的方向是客观存在的,但往往难以事先确定。在分析电路时需要事先假定参考方向。此时,电流、电压都是代数量,其实际方向由参考方向和该代数量来决定。

(2) 参考方向一经假定,在整个分析计算过程中就必须以此为准,不能变动。

(3) 不标出参考方向而说某电流或某电压的值为正或为负是没有意义的。同学们应该养成一个习惯,每提及一个电流或电压,应同时指明其参考方向,每求解一个电流或电压,应首先设定其参考方向。

(4) 参考方向可以任意假定而不影响计算结果的正确性,因为参考方向相反时,解出的电流或电压也要改变正负号,最后得到的实际结果仍然相同。

(5) 电流参考方向和电压参考方向可以独立无关地任意假定,但为了分析问

^① 有时也用双下标表示电压参考方向,如 U_{AB} 表示该电压的参考方向为从 A 指向 B,即 A 为“+”,B 为“-”。

题的方便,常将同一元件上的电流和电压的参考方向选为一致,即电流的参考方向从电压的“+”极指向“-”极,电流和电压的这种一致的参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,反之,则为非关联方向。如图 1-5 所示。

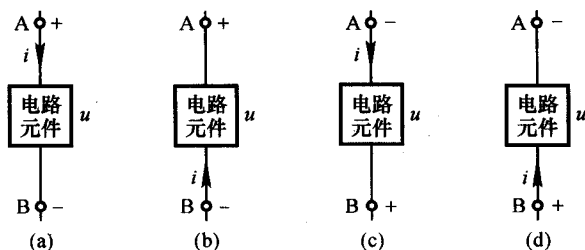


图 1-5 关联参考方向与非关联参考方向

图 1-5(a)、(d)中电压、电流的参考方向属于关联参考方向,图 1-5(b)、(c)中电压、电流的参考方向属于非关联参考方向。今后,本书不特别指出时,均指关联参考方向。

1.2.3 功率和能量

电路的基本作用之一是实现能量的传递和转换,常用功率(power)来表示能量变化的速率,它是电路分析中经常用到的又一个重要物理量。图 1-5(a)所示方框为电路中的一段电路,它可能是单个元件,也可能是若干元件的组合。当单位正电荷 dq 在时间 dt 内由 A 点移到 B 点时,电场力所做的功可根据式(1-3)得到

$$dw = u dq \quad (1-5)$$

式(1-5)表明在时间 dt 内正电荷 dq 失去了 dw 的电能,失去的这部分电能被 AB 段电路所吸收,转换为其他形式的能量(如热能、电磁能等)。

电能对时间的变化率称为电功率,简称功率,用符号 $p(t)$ 表示,功率的数学定义式为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} \quad (1-6)$$

在国际单位制(SI 制)中,功率的单位是瓦特(Watt,简称瓦,符号为 W)。在实际应用中还会用到千瓦(kW)和毫瓦(mW),其换算关系为

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

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

在电路分析中,更加关心功率与电压、电流之间的关系。如果电压和电流的参考方向为关联方向,如图 1-5(a)所示,根据式(1-6)、式(1-5)和式(1-2)可得电路吸收的功率为