

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材 · 通信技术专业

电路分析基础

朱晓萍 主 编

廖 芳
楼晓春 副主编

杨明健 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要,高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整与定位,突出自身的特色。为此,在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下,电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”,下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月,“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是:

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践和实践属性,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;
2. 注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生较强的职业技能;
3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习;着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;
4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性、先进性。

首批教材共有60余种,将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望:希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力,使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务,不会一蹴而就,而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世,还有许多不尽人意之处。随着教育的不断深化,我国经济和科学技术的不断发展,高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下,我们将一如既往地依靠本行业的专家,与科研、教学第一线的教研人员紧密联系,加强合作,与时俱进,不断开拓,逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿,提出选题建议,并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外,我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务,为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院	广州大学科技贸易技术学院
江西信息应用职业技术学院	湖北孝感职业技术学院
江西蓝天职业技术学院	江西工业工程职业技术学院
吉林电子信息职业技术学院	四川工程职业技术学院
保定职业技术学院	广东轻工职业技术学院
安徽职业技术学院	西安理工大学
杭州中策职业学校	辽宁大学高职学院
黄石高等专科学校	天津职业大学
天津职业技术师范学院	天津大学机械电子学院
福建工程学院	九江职业技术学院
湖北汽车工业学院	包头职业技术学院
广州铁路职业技术学院	北京轻工职业技术学院
台州职业技术学院	黄冈职业技术学院
重庆工业高等专科学校	郑州工业高等专科学校
济宁职业技术学院	泉州黎明职业大学
四川工商职业技术学院	浙江财经学院信息学院
吉林交通职业技术学院	南京理工大学高等职业技术学院
连云港职业技术学院	南京金陵科技学院
天津滨海职业技术学院	无锡职业技术学院
杭州职业技术学院	西安科技学院
重庆职业技术学院	西安电子科技大学
重庆工业职业技术学院	河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院	天津中德职业技术学院
三峡大学职业技术学院	安徽电子信息职业技术学院
桂林电子工业学院高职学院	浙江工商职业技术学院
桂林工学院	河南机电高等专科学校
南京化工职业技术学院	深圳信息职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院	河北工业职业技术学院
江西工业职业技术学院	湖南信息职业技术学院
江西渝州科技职业学院	江西交通职业技术学院
柳州职业技术学院	沈阳电力高等专科学校
邢台职业技术学院	温州职业技术学院
漯河职业技术学院	温州大学
太原电力高等专科学校	广东肇庆学院
苏州工商职业技术学院	湖南铁道职业技术学院
金华职业技术学院	宁波高等专科学校
河南职业技术师范学院	南京工业职业技术学院
新乡师范高等专科学校	浙江水利水电专科学校
绵阳职业技术学院	成都航空职业技术学院
成都电子机械高等专科学校	吉林工业职业技术学院
河北师范大学职业技术学院	上海新侨职业技术学院
常州轻工职业技术学院	天津渤海职业技术学院
常州机电职业技术学院	驻马店师范专科学校
无锡商业职业技术学院	郑州华信职业技术学院
河北工业职业技术学院	浙江交通职业技术学院

前 言

本教材是根据 1999 年教育部组织制定的《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》编写的。供高职通信技术专业及有关专业教学使用或作为自学教材使用。参考学时为 80~100 学时(含实践性环节)。

教材以线性电路最基本的三部分内容:电阻电路分析、正弦电流电路的稳态分析和过渡过程时域分析为主体,介绍基本电路理论和电路的基本分析方法。同时,根据通信技术专业及有关专业后续课程的需要,编入了均匀传输线等内容。通过对本教材的学习,要求掌握电路的基本概念、基本定律和初步的分析计算方法,为学习后续课程准备必要的电路知识,并为学生从事相关专业工作打下基础。

高等职业的教育目标是培养应用型人才和复合型人才,侧重于培养学生的技术应用能力,因此,在教学中以掌握概念、强化应用为重点。基于上述考虑,本教材编入的内容以工程实践中正在使用和近期有可能使用的技术所需要的基础理论为主。在编写过程中,本着内容要删繁就简、削枝强干,力求做到基本概念准确、内容精炼、重点突出,注重理论联系实际,为加强学生对基本概念、基本定律以及基本分析方法的理解,提高学生分析问题、解决问题的能力,本书编入了较多的例题和习题。

本教材由沈阳电力高等专科学校的朱晓萍老师主编,江西信息应用职业技术学院的廖芳老师和杭州职业技术学院的楼晓春老师任副主编,其中第 1、3 章由廖芳编写,第 4、5 章由楼晓春编写,第 2、6、7 章由朱晓萍编写。

本教材由蓝天职业技术学院的杨明健教授主审,他对全书进行了认真、仔细的审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示诚挚的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2003 年 5 月



contents

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)
1.1.3 有关电路的一些名词	(2)
1.2 电路的主要物理量	(3)
1.2.1 电流及其参考方向	(3)
1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向	(4)
1.2.3 电功率	(5)
1.3 电阻元件	(6)
1.3.1 电阻元件	(6)
1.3.2 线性电阻元件的电压、电流关系和欧姆定律	(7)
1.3.3 短路和开路	(8)
1.3.4 线性电阻元件的功率	(8)
1.4 电感元件	(8)
1.4.1 线性电感元件	(8)
1.4.2 电感元件的电压、电流关系	(9)
1.4.3 电感元件的磁场能量	(9)
1.5 电容元件	(10)
1.5.1 线性电容元件	(10)
1.5.2 电容元件的电压、电流关系	(10)
1.5.3 电容元件的电场能量	(11)
1.6 理想电压源和理想电流源	(11)
1.6.1 理想电压源	(11)
1.6.2 理想电流源	(11)
1.7 受控源	(12)
1.8 基尔霍夫定律	(12)
1.8.1 基尔霍夫电流定律	(13)
1.8.2 基尔霍夫电压定律	(13)
思考与练习 1	(15)
第 2 章 电阻电路	(19)
2.1 电路的等效变换	(19)



2.2 电阻的串联、并联	(20)
2.2.1 电阻的串联	(20)
2.2.2 电阻的并联	(21)
2.2.3 电阻的混联	(23)
2.3 电压源、电流源模型及其等效变换	(25)
2.3.1 实际电压源和实际电流源	(25)
2.3.2 两种电源模型的等效变换	(27)
2.3.3 电源支路的串联和并联	(28)
2.4 支路电流法	(33)
2.4.1 分析线性电路的一般方法	(33)
2.4.2 支路电流法	(33)
2.5 网孔电流法	(34)
2.6 节点电压法	(38)
2.6.1 节点电压法	(38)
2.6.2 弥而曼定理	(41)
2.7 叠加定理	(42)
2.8 替代定理	(45)
2.9 戴维南定理和诺顿定理	(46)
2.9.1 戴维南定理	(46)
2.9.2 诺顿定理	(49)
2.9.3 等效电阻	(51)
2.9.4 最大功率输出	(52)
2.10 含有受控源的简单电路的分析计算	(53)
思考与练习 2	(57)
第3章 正弦电流电路	(63)
3.1 正弦量	(63)
3.1.1 正弦量的三要素	(63)
3.1.2 相位差	(64)
3.1.3 有效值	(66)
3.2 正弦量的相量表示法	(67)
3.2.1 复数	(67)
3.2.2 用相量表示正弦量	(68)
3.2.3 同频率正弦量的和与差	(69)
3.3 正弦电流电路中的电阻	(69)
3.3.1 电压和电流的关系	(69)
3.3.2 功率	(70)
3.4 正弦电流电路中的电感	(71)
3.4.1 电压和电流关系	(71)
3.4.2 功率	(73)

3.5 正弦电流电路中的电容	(73)
3.5.1 电压和电流关系	(73)
3.5.2 功率	(75)
3.6 电阻、电感、电容串联电路	(76)
3.6.1 电压和电流关系	(76)
3.6.2 复阻抗	(77)
3.6.3 电路的三种情况	(78)
3.7 电阻、电感、电容并联电路	(79)
3.7.1 电压和电流关系	(79)
3.7.2 复导纳	(80)
3.7.3 电路的三种情况	(81)
3.8 复阻抗、复导纳及其等效变换	(81)
3.8.1 复阻抗的串、并联	(81)
3.8.2 复阻抗与复导纳的等效变换	(83)
3.9 几种实际电气器件的电路模型	(84)
3.9.1 电阻器	(84)
3.9.2 电感线圈	(85)
3.9.3 电容器	(85)
3.10 正弦电流电路中的功率	(85)
3.10.1 瞬时功率	(85)
3.10.2 有功功率、无功功率和视在功率	(86)
3.10.3 复功率	(87)
3.10.4 功率因数及功率因数的改善	(88)
3.11 一般正弦电流电路的计算	(90)
思考与练习 3	(94)

第4章 耦合电感和谐振电路 (98)

4.1 耦合电感元件	(98)
4.1.1 互感	(98)
4.1.2 同名端	(99)
4.1.3 互感电压	(100)
4.2 含有耦合电感的正弦电流电路	(101)
4.2.1 耦合电感的串联	(101)
4.2.2 耦合电感的并联	(102)
4.2.3 含耦合电感电路的一般计算方法	(104)
4.3 理想变压器	(106)
4.4 串联谐振	(108)
4.4.1 串联谐振的条件	(108)
4.4.2 串联谐振的特点	(108)
4.4.3 频率特性和电流谐振曲线	(111)



4.5 并联谐振	(112)
思考与练习 4	(113)
第 5 章 三相电路	(116)
5.1 对称三相正弦量	(116)
5.2 三相电源和三相负载的连接	(117)
5.2.1 三相电源的连接	(117)
5.2.2 三相负载的连接	(119)
5.3 对称三相电路的计算	(120)
5.4 不对称三相电路	(122)
5.5 三相电路的功率	(124)
5.5.1 有功功率、无功功率、视在功率	(124)
5.5.2 对称三相电路中的瞬时功率	(124)
5.5.3 三相功率的测量	(125)
思考与练习 5	(126)
第 6 章 线性电路过渡过程的时域分析	(128)
6.1 换路定律和初始条件的计算	(128)
6.1.1 换路定律	(129)
6.1.2 初始条件的计算	(130)
6.2 一阶电路的零输入响应	(131)
6.2.1 RC 电路的零输入响应	(131)
6.2.2 时间常数	(132)
6.2.3 RL 电路的零输入响应	(135)
6.3 一阶电路的零状态响应	(137)
6.3.1 RC 电路在直流激励下的零状态响应	(137)
6.3.2 RL 电路在直流激励下的零状态响应	(138)
6.3.3 正弦激励下的零状态响应	(140)
6.4 一阶电路的全响应	(141)
6.4.1 全响应的两种分解	(141)
6.4.2 分析一阶电路全响应的三要素法	(144)
6.5 阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	(148)
6.5.1 阶跃函数	(148)
6.5.2 一阶电路的阶跃响应	(149)
6.6 二阶电路的零输入响应	(151)
6.6.1 方程和特征根	(151)
6.6.2 非振荡放电过程	(152)
6.6.3 振荡放电过程	(154)
6.6.4 临界放电过程	(157)
思考与练习 6	(159)



第7章 均匀传输线	(164)
7.1 均匀传输线方程	(164)
7.1.1 分布参数电路	(164)
7.1.2 均匀传输线及其方程	(165)
7.2 均匀传输线方程的正弦稳态解	(166)
7.3 均匀传输线的行波和副参数	(169)
7.3.1 均匀传输线的行波	(169)
7.3.2 副参数	(173)
7.4 终端接特性阻抗的均匀传输线	(174)
思考与练习7	(177)
附录A 部分习题答案	(178)
附录B 中英名词对照	(182)
参考文献	(187)

第 1 章 电路的基本概念和基本定律



内容提要

本章主要介绍电路和电路的主要物理量及其参考方向,独立电源、受控源和电阻、电感、电容的基本概念,学习欧姆定律和基尔霍夫定律等内容。本章的重点和难点是:参考方向、基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

1. 电路的构成

电路是为了某种需要,由一些电气器件按一定方式连接起来的电流通路。比较复杂的电路呈网状,常称网络。

电路由电源、负载和中间环节(包括连接导线和控制开关)三部分构成,各部分的作用如下。

(1)电源:提供电能的装置,它把非电能转换成电能。例如干电池和蓄电池将化学能转化成电能,发电机将机械能转化成电能。

(2)负载:消耗电能的装置,它把电能转化成非电能。例如电灯将电能转化成光能和热能,电动机将电能转化成机械能。

(3)中间环节:用来连接电源和负载,起传递和控制电能的作用。

如图 1.1(a)所示的电路是一个手电筒的实际电路,它由干电池(电源)、小灯泡(负载)、开关和连接导线(中间环节)构成。其中,电源内部的电路叫做内电路,电源之外的部分(负载、开关、连接导线等)叫做外电路。

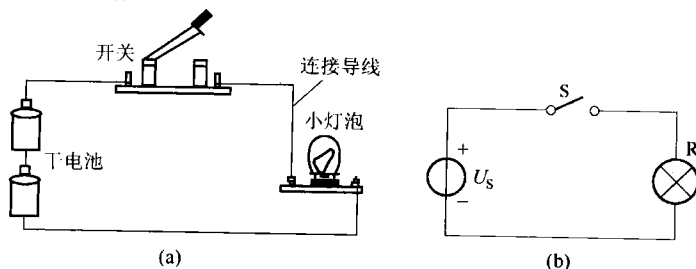


图 1.1 手电筒的实际电路及电路模型



2. 电路的分类及作用

电路按功能分可以分为两类。

(1) 电力电路: 实现电能传输和转换功能的电路。例如, 电气照明电路, 电厂输出的电能通过传输线输送给用户, 用户通过照明器具(灯泡)将电能转换成光能。

(2) 信号电路: 实现信号的传递和处理功能的电路。例如, 收音机、电视机电路等, 收音机、电视机将天线感应到的高频调制信号接收下来, 经过选频、高频放大、变频、中频放大、解调、低频放大、功率放大等, 一级一级地将信号处理(频率变换、信号放大、去除干扰等)并传递下来, 最终送给负载(喇叭及显像管), 使喇叭发出声音、显像管播放图像。

1.1.2 电路模型

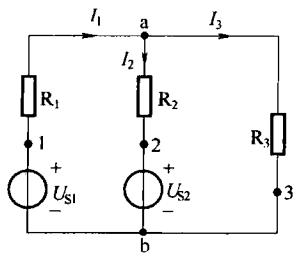
实际电路中的元件种类繁多, 在对电路进行分析研究时, 通常是将实际的元器件用一些反映其主要特征的理想电路元件来代替, 这就构成了与实际电路相对应的电路模型。即用理想元件构成的电路称为电路模型。图 1.1(b)是与图 1.1(a)相对应的电路模型。

使用电路模型来完成对实际电路的分析运算, 既可以得出实际电路的主要特性结果, 又可大大简化分析过程。本教材的后续电路即为这种电路模型。

1.1.3 有关电路的一些名词

1. 支路

由一个或几个元件组成的无分支电路称为支路。在图 1.2 中, 共有三条支路, $a1b$ 、 $a2b$ 和 $a3b$ 。其中, $a1b$ 、 $a2b$ 中含有电源, 因而称为有源支路; $a3b$ 中不含电源, 称为无源支路。



2. 节点

三条或三条以上支路的连接点称为节点, 或结点。在图 1.2 中, 共有两个节点, 节点 a 和节点 b 。

3. 串联

几个电路元件接成的无分支电路的连接方式称为串联。在图 1.2 中, 有两条串联电路, R_1 与 U_{S1} 串联, R_2 与 U_{S2} 串联。

4. 并联

几个元件或几条支路的两端接在同一对节点间的连接方式称为并联。在图 1.2 中, 有支路 $a1b$ 、 $a2b$ 和 $a3b$ 三条支路并联。

5. 回路

由一条或几条支路组成的闭合路径称为回路。在图 1.2 中, 共有三个回路, $a2b1a$ 回路、 $a2b3a$ 回路、 $a3b1a$ 回路。



6. 网孔

不能再分割的基本回路称为网孔。在图 1.2 中共有两个网孔, a2b1a 网孔和 a2b3a 网孔。

注意:网孔一定是回路,但回路不一定是网孔。同一电路中,回路通常多于网孔。在图 1.2 中,有三个回路,两个网孔。

1.2 电路的主要物理量

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

电荷的定向运动形成电流。电流的大小是用电流强度来描述的,其定义为:单位时间内,通过导体横截面的电荷量称为电流强度,简称电流。即

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

当电流的量值和方向不随时间变动,即 dq/dt 等于定值时,则这种电流称为直流电流,简称直流(DC)。用大写字母 I 表示,所以式(1-1)可改写为

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

式中 dq 或 q ——通过导体横截面的电荷量,单位为库仑(C);

dt 或 t ——时间,单位为秒(s)。

周期性变动且平均值为零的电流称为交变电流,简称交流(AC),用小写字母 i 表示。

可见,电流一词不仅代表一种物理现象,而且也代表一个物理量。

本书中的物理量采用国际单位制(SI)。电流在 SI 中的单位是安培,简称安(A)。其含义是如果 1 秒(s)内通过导体横截面的电量是 1 库仑(C),则该导体中的电流为 1 安(A)。

电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μ A)。各单位间的换算关系为

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

2. 电流的参考方向

(1)电流的实际方向:正电荷移动的方向即为电流的实际方向。

(2)电流的参考方向:在进行电路分析运算时,人为规定的电流方向即为电流的参考方向。

(3)实际方向与参考方向的关系:根据电流的参考方向进行计算时,若计算结果为正值($I > 0$),说明电流的实际方向与参考方向相同;若计算结果为负值($I < 0$),说明电流的实际方向与参考方向相反。这样,在选定电流参考方向后,可根据电流的正负,确定电流的实际方向,如图 1.3(a)、(b)所示。如果 I_{ab} 表示电流由 a 指向 b,用 I_{ba} 表示电流由 b 指向 a,显然,两者相差一个负号,即 $I_{ab} = -I_{ba}$,如图 1.3(c)所示。

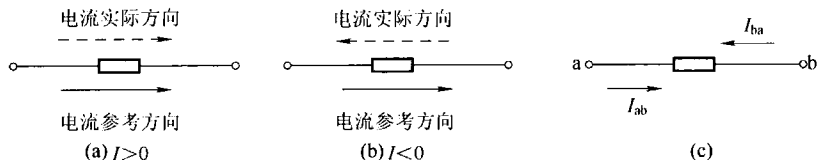


图 1.3 电流参考方向与实际方向的关系

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向

1. 电压

(1) 电压的定义。电路中 a、b 两点间的电压等于单位正电荷在电场力的作用下由 a 点移到 b 点时减少的电能, 用符号 u_{ab} 表示, 即

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

式中, dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量; dW 为转移过程中电荷减少的电能。电压既然表明单位正电荷在电场力作用下转移时减少的电能, 减少电能体现为电位的降低(从高电位点到低电位点), 所以电压的方向就是电位降低的方向。

电压的 SI 单位是伏特, 简称伏(V)。电压的常用单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)。各单位的换算关系为

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

根据电压是否随时间变化可分为直流电压和交流电压。

直流电压: 大小和方向不随时间变化的电压, 用大写字母 U 表示。

交流电压: 大小和方向随时间按一定规律变化的电压, 用小写字母 u 表示。

(2) 电压的参考方向及关联参考方向。在实际电路中, 有些电压的实际方向难以判定, 有些电压的实际方向随时间变化。因此, 在具体分析电路时, 应任选一电压方向作为电压的参考方向。与电流参考方向的选择相似, 根据电压的参考方向进行计算时, 若计算结果为正值($U > 0$), 则说明电压的实际方向与参考方向相同; 若计算结果为负值($U < 0$), 则说明电压的实际方向与参考方向相反。

电压参考方向的选择是任意的, 它与电流参考方向的选择无关。但是为了方便起见, 在电路中常常将电流和电压的参考方向选择为同一方向, 这种方式选择的参考方向称为关联参考方向。

2. 电位

(1) 电位与电位参考点。电路中 a 点与电位参考点 o 之间的电压称为该点的电位, 用 V_a 表示。可见, 要确定电路中任一点的电位, 首先要选定电位参考点。

电位参考点又称零电位点, 从理论上来说, 可以任意选定。但要注意, 在同一个电路中, 只能选择一个电位参考点。在电工技术中, 常选大地为电位参考点。在电子线路中, 一般都把信号的输入端、输出端和电源的公共端接在一起(有时将该点与机壳相连), 并取该点(通常称为“地”端)作为电位参考点。

电位的单位与电压的单位相同。

(2) 电位与电压的关系。在电路中,任意两点之间的电位差称为这两点的电压。所以,电压也叫电位差,如

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

式中, U_{ab} 为 a、b 两点间的电压; V_a 、 V_b 分别为 a 点和 b 点的电位。

因为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

$$U_{ba} = V_b - V_a = -(V_a - V_b)$$

所以

$$U_{ba} = -U_{ab}$$

例 1.1 如图 1.4 所示,已知 $U_{ac} = 8V$ 、 $U_{cb} = 5V$ 。

(1) 选取 b 点为电位参考点,求 a 点电位 V_a 。

(2) 选取 c 点为电位参考点,再求 a 点电位 V_a 。

解: (1) 选取 b 点为电位参考点,即 $V_b = 0$, 则

$$V_a = U_{ac} + U_{cb} = 8 + 5 = 13V$$

(2) 选取 c 点为电位参考点,即 $V_c = 0$, 则

$$V_a = U_{ac} = 8V$$

由本例可得: 电位参考点变化时,各点电位随之发生变化,但电压的大小与电位参考点的选择无关。

3. 电动势

如图 1.5 所示, V_a 高于 V_b , a 和 b 之间就形成一个由 a 指向 b 的电场。若用导线将 a、b 与负载连接,则正电荷在该电场的作用下,从高电位 a 端通过导线和负载移到低电位 b 端,形成从高电位流向低电位的电流,即在电源外电路中,电流的方向是从高电位流向低电位的。为了维持导体中的电流,必须有一种外力源源不断地把正电荷从低电位移到高电位。提供这种外力的装置就是电源,反映这种外力大小的参数即为电源电动势。

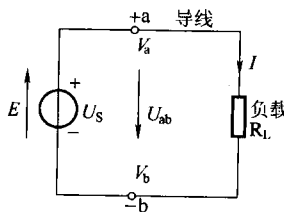


图 1.5 电源电动势

电源电动势的定义为: 在电源内部,外力将单位正电荷由负极移动到正极增加的电能电源电动势,用字母 e 表示,即

$$e = \frac{dW_s}{dq} \quad (1-5)$$

式中, dq 为转移的电荷; dW_s (下标 S 表示电源) 为转移过程中电荷增加的电能。

与电压一样,直流电动势用大写字母 E 表示;交流电动势用小写字母 e 表示。

应该注意:

(1) 电源电动势的实际方向是从低电位(负极)指向高电位(正极),与电源电压的实际方向相反,如图 1.5 中的电路所示。

(2) 在电源的内部,电流从低电位流向高电位,与电源外部的电流流向相反。

1.2.3 电功率

电能转换的速率称为电功率,简称功率,用 p 表示。由式(1-3)可知,正电荷 dq 受电场力作用从高电位 a 点流向低电位 b 点减少的电能为 $dW = udq$ 。因此



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

功率的 SI 单位是瓦特, 简称瓦(W)。功率的常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)、微瓦(μ W)等。它们之间的换算关系为

$$1\text{W} = 10^3\text{mW} = 10^6\mu\text{W} = 10^{-3}\text{kW}$$

实际电路进行功率运算时, 若电流、电压取关联参考方向, 则功率为

$$p = ui \text{ 或 } P = UI \quad (1-7)$$

若电流、电压取非关联参考方向, 则功率为

$$p = -ui \text{ 或 } P = -UI \quad (1-8)$$

在计算结果中, 若 $p > 0$, 则该元件吸收功率; 若 $p < 0$, 则该元件发出功率。

若电路如图 1.6 所示, 则电路中的功率关系为

$$P_s = P_L + \Delta P \quad (1-9)$$

式中 P_s ——电源电动势产生的功率($P_s = U_s I$);

P_L ——负载电阻吸收的功率($P_L = UI$);

ΔP ——电源内阻消耗的功率。

公式(1-9)也称电路的功率平衡方程式。其含义是: 电路中电动势发出的功率, 等于各部分电阻吸收功率的总和。可见功率平衡方程式是能量守恒定律在电路中的具体表现。

根据式(1-6), 从 t_0 到 t 时间内, 电路消耗的电能(量)为

$$W = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-10)$$

直流时为

$$W = P(t - t_0) \quad (1-11)$$

电能的 SI 单位是焦耳(J), 它等于功率为 1W 的用电设备在 1s 内消耗的电能。实际中常用千瓦·小时(kW·h)做单位, 1 千瓦·小时俗称 1 度电。

例 1.2 如图 1.6 所示, 已知电源电动势 U_s 为 20V, 负载两端的电压 U_{ab} 为 18V, 电路中的电流 I 为 2A, 求电源电动势发出的功率 P_s , 负载电阻吸收的功率 P_L , 电源内阻消耗的功率 ΔP 。

解:

$$P_s = U_s I = 20 \times 2 = 40\text{W}$$

$$P_L = U_{ab} I = 18 \times 2 = 36\text{W}$$

$$\Delta P = P_s - P_L = 40 - 36 = 4\text{W}$$

1.3 电阻元件

1.3.1 电阻元件

在导体中, 电荷做定向运动时会受到一定的阻力, 反映导体对电流运动呈现阻碍作用的电路参数称为电阻, 其图形符号如图 1.7(a)所示。它是一个二端元件。二端元件的端钮电流、端钮间的电压分别称为元件电流、元件电压。电阻元件的特性

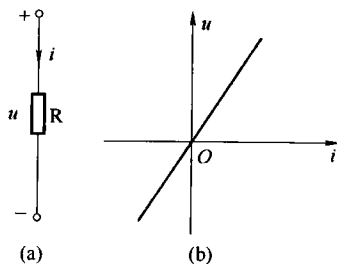


图 1.7 电阻元件及其伏安特性

可用元件电压与元件电流的代数关系表示,这个关系称为电压电流关系,缩写为 VCR。由于电压、电流的 SI 单位是伏特和安培,所以电压电流关系也称为伏安特性,在 $u-i$ 坐标平面上,元件的电压电流关系曲线常用伏安特性曲线来表示。

1.3.2 线性电阻元件的电压、电流关系和欧姆定律

1. 欧姆定律 (Ohm's law)

德国物理学家欧姆用实验的方法研究了电阻两端电流与电压的关系,得出结论:流过电阻 R 的电流,与电阻两端的电压成正比,与电阻 R 成反比,这个结论称为欧姆定律。取关联参考方向,如图 1.7(a)所示,欧姆定律用公式表示为

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

或

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-13)$$

电流、电压取非关联参考方向时,欧姆定律表示为

$$U = -IR \text{ 或 } R = -\frac{U}{I} \quad (1-14)$$

电阻的 SI 单位是欧姆(Ω),也常用千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)做单位。

电阻的倒数称为电导,用字母 G 表示,单位是西门子(S)。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-15)$$

2. 线性电阻及其伏安特性

当通过电阻的电流或加在电阻两端的电压发生变化时,电阻的阻值恒定不变,则称该电阻为线性电阻。其伏安特性曲线为一条通过坐标原点的直线,如图 1.7(b)所示。只含有线性元件的电路称为线性电路。

3. 非线性电阻及其伏安特性

若电阻与通过它的电流和加在其两端的电压有关,即电阻的阻值随着电流或电压的变化而变化,这样的电阻称为非线性电阻。其伏安特性不是一条通过原点的直线。如图 1.8 所示为二极管的伏安特性曲线。

显然,非线性电阻上的电压和电流关系是不遵守欧姆定律的。若电路中含有一个或几个非线性元件,则该电路称为非线性电路。本教材主要讨论线性电路。

例 1.3 测得某电路中一电阻两端的电压为 32V,通过电阻的电流为 10mA。

(1)求此电阻 R 的大小;

(2)若将电阻两端的电压增加到 80V,问流过该电阻的电流 I 是多少?

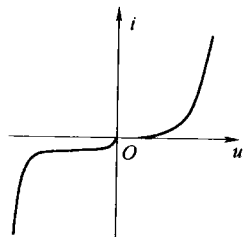


图 1.8 非线性电阻(二极管)的伏安特性曲线