



21st CENTURY
规划教材

面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材
COURSES FOR VOCATIONAL HIGHER EDUCATION: ELECTRONICS AND COMMUNICATION

电路原理

PRINCIPLES OF ELECTRIC CIRCUITS

王仁道 主 编



科学出版社
www.sciencep.com



面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材
COURSES FOR VOCATIONAL HIGHER EDUCATION; ELECTRONICS AND COMMUNICATION

电 路 原 理

王仁道 主编

王英楠 孙建民 副主编

杨永生 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书的主要写作目的是为培养实用型、技能性人才的高职高专院校提供一本浅显易懂、便于教学的电路原理教材。

本书共分5章包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法、动态电路的时域分析、正弦电路的稳态分析、互感与理想变压器等内容,同时在附录中提供了电路原理实验。

本书的主要特点是以大量例题的形式对电路的基本概念和基本分析方法进行透彻讲解,书中还渗透了电子类工程技术人员在实际工作中分析电路的思路和技能。全书内容通俗易懂,每章都配有自测习题,其难度都不超过例题,便于学生自学和教师施教。

本书可作为应用电子技术、通信工程、电子工程、计算机应用等专业的高考全日制高职、高专的二年制或三年制大专的教材;也可作为夜大、函大、学历文凭考试、自学考试等电子类专业的大专教材。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理/王仁道主编. —北京:科学出版社,2004

(面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材)

ISBN 7-03-013988-7

I. 电… II. 王… III. 电路理论-高等学校:技术学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第075294号

责任编辑:万国清 丁 波/责任校对:都 岚

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

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>

世界知识印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年8月第一次印刷 印张:13 1/2

印数:1—4 000 字数:302 000

定价:19.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<世知>)

面向 21 世纪高职高专规划教材专家委员会

主 任 李宗尧

副主任 (按姓氏笔画排序)

丁桂芝 叶小明 张和平 林 鹏

黄 藤 谢培苏

委 员 (略)

信息技术系列教材编委会

主 任 丁桂芝

副主任 (按姓氏笔画排序)

万金保 方风波 徐 红 鲍 泓

委 员 (按姓氏笔画排序)

于晓平	马国光	仁英才	王东红	王正洪
王 玉	王兴宝	王金库	王海春	王爱梅
邓 凯	付百文	史宝会	本柏忠	田 原
申 勇	任益夫	刘成章	刘克敏	刘甫迎
刘经玮	刘海军	刘敏涵	安志远	许殿生
何瑞麟	余少华	吴春英	吴家碚	吴瑞萍
宋士银	宋锦河	张红斌	张环中	张海鹏
张蒲生	张德实	李云程	李文森	李 洛
李德家	杨永生	杨 闯	杨得新	肖石明
肖洪生	陈 愚	周子亮	周云静	胡秀琴
赵从军	赵长旭	赵动庆	郝 梅	唐铸文
徐洪祥	徐晓明	袁德明	郭庚麒	高延武
高爱国	康桂花	戚长政	曹文济	黄小鸥
彭丽英	董振珂	蒋金丹	韩银峰	魏雪英

出版前言

随着世界经济的发展,人们越来越深刻地认识到经济发展需要的人才多元化、多层次的,既需要大批优秀的理论性、研究性的人才,也需要大批应用性人才。然而,我国传统的教育模式主要是培养理论性、研究性的人才。教育界在社会对应用性人才需求的推动下,专门研究了国外应用性人才教育的成功经验,结合国情大力度地改革我国的“高等职业教育”,制定了一系列的方针政策。联合国教科文组织1997年公布的教育分类中将这种教育称之为“高等技术与职业教育”,也就是我们通常所说的“高职高专”教育。

我国经济建设需要大批应用性人才,呼唤高职高专教育的崛起和成熟,寄希望于高职高专教育尽快向国家输送高质量的紧缺人才。近几年,高职高专教育发展迅速。目前,各类高职高专学校已占全国高等院校的近1/2,约有600所之多。教育部针对高职高专教育出台的一系列政策和改革方案主要体现在以下几个方面:

- “就业导向”成为高职高专教育的共识。高职高专院校在办学过程中充分考虑市场需求,用“就业导向”的思想制定招生和培养计划。
- 加快“双师型”教师队伍建设。已建立12个国家高职高专学生和教师的实训基地。
- 对学生实行“双认证”教育。学历文凭和职业资格“双认证”教育是高职高专教育特色之一。
- 高职高专教育以2年学制为主。从学制入手,加快高职高专教学方向的改革,充分办出高职高专教育特色,尽快完成紧缺人才的培养。
- 开展精品专业和精品教材建设。已建立科学的高职高专教育评估体系和评估专家队伍,指导、敦促不同层次、不同类型的学校办出一流的教育。

在教育部关于“高职高专”教育思想和方针指导下,科学出版社积极参与到高职高专教材的建设中来。在组织教材过程中采取了“请进来,走出去”的工作方法。即:由教育界的专家、领导和一线的教师,以及企事业从事人力资源工作的人员组成顾问班子,充分分析我国各地区的经济发展、产业结构以及人才需求现状,研究培养国家紧缺人才的关键要素,寻求切实可行的教学方法、手段和途径。

通过研讨认识到,我国幅员辽阔,各地区的产业结构有明显的差异,经济发展也不平衡,各地区对人才的实际需求也有所不同。相应地,相同专业和相近专业,不同地区的教学单位在培养目标和培养内容上也各有自己的定位。鉴此,适应教育现状的教材建设应该具有多层次的设计。

为了使教材的编写能针对受教育者的培养目标,出版社的编辑分不同地区逐所学校拜访校长、系主任和老师,深入到高职高专学校及相关企事业,广泛、深入地教学和教学第

一线的老师、用人单位交流，掌握了不同地区、不同类型的高职高专院校的教师、学生和教学设施情况，清楚了各学校所设专业的培养目标和办学特点，明确了用人单位的需求条件。各区域编辑对采集的数据进行统计分析，在相互交流的基础上找出各地区、各学校之间的共性和个性，有的放矢地制定选题项目，并进一步向老师、教育管理者征询意见，在获得明确指导性意见后完成“高职高专规划教材”策划及教材的组织工作：

- 第一批“高职高专规划教材”包括三个学科大系：经济管理、信息技术、建筑。
- 第一批“高职高专规划教材”在注意学科建设完整性的同时，十分关注具有区域人才培养特色的教材出版。
- 第一批“高职高专规划教材”组织过程中，正值高职高专学制从 3 年制向 2 年制转轨，教材编写将其作为考虑因素，要求提示不同学制的讲授内容。
- 第一批“高职高专规划教材”编写
 - ◆ 强调以就业岗位对知识和技能需求下的教材体系的系统性、科学性和实用性。
 - ◆ 强调教材以实例为先，应用为目的；围绕应用讲理论，取舍适度，不追求理论的完整性。
 - ◆ 强调提出问题→解决问题→归纳问题的教、学法，培养学生触类旁通的实际工作能力。
 - ◆ 强调课后作业和练习（或实训）真正具有培养学生实践能力的作用。

在“高职高专规划教材”编委的总体指导下，第一批各科教材基本是由系主任，或从教学一线中遴选的骨干教师执笔撰写。在每本书主编的严格审读及监控下，在各位老师的辛勤编撰下，这套凝聚了所有作者及参与研讨的老师们的经验、智慧和资源，涉及三个大的学科近 200 种的高职高专教材即将面世。我们希望经过近一年的努力，我们奉献给读者的是他们渴望已久的适用教材。同时，我们也清醒地认识到，“高职高专”是正在探索中的教育，加之我们的水平和经验有限，教材的选题和编辑出版会存在许多不尽人意的地方，真诚地希望得到老师和学生的批评建议，以利今后改进，为繁荣我国的高职高专教育不懈努力。

科学出版社

2004 年 6 月 1 日

前 言

“电路原理”是二年制和三年制高职、高专院校应用电子技术、通信工程、电子工程、计算机应用等专业的一门专业基础课程。高职高专培养人材的方向是以“实用型、技能型”为主要目标，因此本书在编写过程中紧扣这一基本要求，并考虑到二年制和三年制大专层次学生的基础知识特点和学制短、教学时数有限的实际情况，删去了一些与实际应用联系不紧密的纯理论性内容，特别是对模拟电子技术、数字电子技术等后继课程很少用到的内容也进行了压缩处理。作者编写本教材的基本思想是为读者提供一本浅显易懂，既便于自学和教学，又适合就业实际需要的电路原理教科书。

本书包括电路的基本概念和定律、电路的基本分析方法、动态电路的时域分析、正弦电路的稳态分析、互感与理想变压器等内容。

在编写过程中，作者围绕“以实用为主、理论上够用即可”这一基本思想，针对以往使用的同类书籍纯理论性的内容偏高，不太适应高职、高专学生对基本理论、基本知识、基本技能及理论联系实际的要求的情况，本书在编写中进行了较大的改革尝试，归纳起来有以下四个特点：

(1) 用大量例题的形式对电路的基本概念、基本理论和基本分析方法进行透彻分析，达到以“例”说“理”的目的。举例中尽量渗透电子工程技术人员在实际工作中分析电路的基本思路、基本技能和技巧，使学生在中能学到一些在第一线工作的电子技术人员的良好习惯，以便毕业后能尽快适应实际工作的需要。

(2) 在内容处理上注意抓主要矛盾和基本功的训练。例如在第3章动态电路的时域分析中，一开始就讲解换路定律及用三要素公式求解电路的全响应，而把零输入响应和零状态响应作为全响应的特例予以简单介绍，并指出只要训练好对三要素公式的使用，全章内容的知识点也就可以牢固掌握了。再如第5章互感与理想变压器中，抓住了互感的顺串、反串、T型等效这一主要方法，指出只要在含互感的电路中做了去耦等效，就可以用前几章的内容进行电路分析了。这样处理，能使感到各章内容的核心知识点并不多，达到易学易懂又实用的目的。由于抓住了主要矛盾，删去了大量繁杂的与实用联系不紧密的内容，为缩短学时数奠定了基础。

(3) 全书贯穿了用电位比较法分析电路的基本思想，因为电位法是实际工作中最常用的电路分析方法之一，因而把与电位法密切相关的弥尔曼定理的应用做了重点讲解，并把电位比较法与欧姆定律、电阻的串并联、分压分流法作为分析求解电路的首选方法。这样处理的目的是便于后继课程的学习。例如，模拟电路中，运算放大器在负反馈线性工作状态下，无论电路怎样复杂，只要用弥尔曼定理分别写出运放同相输入端与反向输入端的电位表达式，并将这两个电位列成等式，就能很容易地求出运放输出与输入信号的关系，而避免去记忆众多的公式。这样做的结果既有利于后继课程的学习，又达到了把知识转化为实际应用能力的目的。

(4) 每章的最后一节内容实际上都是对全章知识点综合应用的举例，也是对全章的

总结,所举的例子有典型的实际工程观点,既扩大了知识面,又搞清楚了容易混淆的概念。这些内容既可由教师挑选讲解,也可让学生自学,因为所举的例子难度一般都比课后习题难度大,易于达到使读者举一反三的目的。比照书中例子来做课后练习,读者会感到容易掌握基本知识点,这样做,也是力图使本教材通俗易懂的一种尝试。

作者在编写本教材时,还考虑到二年制大专教学内容的不同,例如对受控源电路的分析,实际工作中用得少,即使碰到像三极管的基极电流控制集电极电流或场效应管中的栅源电压控制漏极电流、变压器初级电压控制次极电压这类受控源电路,后继课程中也都有较简单的分析方法,因此二年制大专可把全书中有关受控源的内容全部删去,这样做不会影响后继课程的学习和将来实际工作需要;再如动态电路的时域分析中,只讲用三要素公式求全响应的内容即可,删去由它派生出来的零输入响应和零状态响应。再加上书中打有“※”号的例题可以不讲,两年制大专实际使用 60 学时左右的时间即可学完本教材的全部内容,三年制大专用 80 学时左右也足以讲完全书内容,如果能强调学生自学书中的一些例题,以及各章最后一节的实例分析,这些内容可讲、可少讲也可不讲,则两年制和三年制的真正教学课时数还可减少 $1/5$ 左右。

本书除了供高职、高专使用外,也可作为夜大、函大、学历文凭考试、自学考试的教材。由于全书编写得浅显易懂,适于自学,也可供非电类专业的本科生选用。

本书由西安外事学院王仁道任主编,吉林大学王英楠、武警工程学院孙建民任副主编,编委有武警工程学院丁谊、西安外事学院李峰泉、张亚利、郝丽婷,由杨永生主审。在西安外事学院从事本课程高职、高专教学的同行们均对本书的编写提出了建设性的意见,在此向他们一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间又仓促,书中难免存在一些错误和缺点,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 电路	2
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流、电压和电功率	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	3
1.2.3 电功率	4
1.3 欧姆定律	6
1.3.1 欧姆定律	6
*1.3.2 电导	6
1.3.3 电阻元件上消耗的功率与能量	6
1.4 基尔霍夫定律	8
1.4.1 名词术语	8
1.4.2 基尔霍夫电流定律	9
1.4.3 基尔霍夫电压定律	10
1.5 电路中的等效	11
1.5.1 电阻的串联	12
1.5.2 电阻的并联	12
1.6 电路中的电位及其计算	14
*1.7 受控源	17
1.8 基本概念和定律的应用	20
本章小结	25
本章主要概念	26
本章自测题	26
第 2 章 电路的基本分析方法	30
2.1 电压源和电流源及其等效变换	30
2.1.1 电压源	30
2.1.2 电流源	31
2.1.3 实际电压源与电流源的等效变换	31
2.1.4 利用电压源与电流源等效变换的解题方法	32
2.2 节点电位法	33
2.2.1 弥尔曼定理	33
*2.2.2 两个以上节点的电路	36

2.3	等效电源定理	37
2.3.1	戴维南定理	37
2.3.2	诺顿定理	38
2.3.3	戴维南等效电路的开路电压 U_0 及等效内阻 R_0	39
2.4	最大功率传输定理	43
2.5	网孔电流法与回路电流法	46
2.5.1	网孔电流法	46
2.5.2	回路电流法	49
2.6	叠加定理和置换定理	51
2.6.1	叠加定理	51
2.6.2	置换定理	53
*2.6.3	齐次定理	56
2.7	电路分析方法举例	57
	本章小结	63
	本章主要概念	64
	本章自测题	65
第3章	动态电路的时域分析	71
3.1	电容、电感和换路定律	71
3.1.1	电容元件	71
3.1.2	电感元件	73
3.1.3	换路定律	74
3.2	电感、电容的串并联	77
3.2.1	电感的串联和并联	77
3.2.2	电容的串联和并联	78
3.3	动态电路的方程及三要素公式	81
3.3.1	方程的建立	81
3.3.2	一阶微分方程的求解	82
3.4	零输入响应和零状态响应	87
3.4.1	零输入响应	87
3.4.2	零状态响应	89
3.4.3	零输入响应和零状态响应与全响应的关系	90
3.5	稳态响应和暂态响应	93
3.6	求解一阶动态电路的方法	97
	本章小结	104
	本章主要概念	105
	本章自测题	106
第4章	正弦电路的稳态分析	112
4.1	正弦电压和电流	112
4.1.1	正弦量的三要素	113

4.1.2 相位差	113
4.1.3 有效值	113
4.2 正弦交流电的相量表示法	115
4.2.1 相量	115
4.2.2 正弦交流电相量计算法的两套公式	118
4.3 单一元件的相量形式及其平均功率	121
4.3.1 电阻元件	121
4.3.2 电感元件	122
4.3.3 电容元件	123
4.3.4 正弦交流电路的平均功率	124
4.4 正弦串联电路和并联电路	127
4.4.1 正弦串联电路	128
4.4.2 正弦并联电路	131
4.5 混联电路的分析	134
4.6 正弦交流电路分析方法举例	139
*4.7 三相电路简介	149
4.7.1 相电压	149
4.7.2 线电压	150
4.7.3 三相电路的计算	151
本章小结	152
本章主要概念	154
本章自测题	155
第5章 互感与理想变压器	160
5.1 耦合电感元件	160
5.1.1 耦合电感的基本概念	160
5.1.2 互感系数 M	162
5.1.3 耦合电感的电压、电流关系	163
5.1.4 同名端的判别方法	164
5.2 耦合电感的去耦等效	165
5.2.1 耦合电感的串联等效	165
*5.2.2 互感系数 M 的测量	165
5.2.3 耦合电感的 T 型等效	167
5.3 含互感电路的分析方法	171
5.4 理想变压器	176
5.4.1 理想变压器	176
5.4.2 理想变压器的变压关系	177
5.4.3 理想变压器的变流关系	178
5.4.4 理想变压器的变换阻抗关系	179
5.5 含理想变压器电路的分析方法	181

本章小结.....	188
本章主要概念.....	188
本章自测题.....	189
附录 电路原理实验环节.....	194
主要参考文献.....	204

第1章 电路的基本概念和定律



知识点

- 电流、电压和电功率
- 欧姆定律和基尔霍夫电流定律及电压定律
- 电阻串、并联、分压、分流公式
- 电路中的电位及其计算
- 受控源的概念



难点

- 电压、电流参考方向的关联与非关联
- 用电位比较法对电路进行分析和计算
- 含受控源电路的分析方法



要求

掌握:

- 用基尔霍夫电压定律和电流定律分析电路
- 电位法分析电路的基本规律
- 串、并联电路的分压、分流
- 电功率的计算方法

了解:

- 电路模型
- 电导及用电导表示的欧姆定律公式
- 受控源的定义和种类

1.1 电路及电路模型

在“电路原理”课程中,要学习的主要内容是电路的基本规律和分析计算方法。人们把若干个电子元件、器件按照不同方式连接在一起就构成了各种各样的实用电路,由于电子元件、器件种类繁多,在实物构成的电路中研究、分析问题很不方便,为此把它们用“模型”表示出来,画出电路模型。“模型”是自然科学研究中普遍使用的重要概念,例如,“直线”是数学研究中的模型,“质点”是物理学研究中的模型,这些模型都是从实物中经过合理简化抽象出来的,但对研究实际问题却十分方便。同样,在研究实际电路时,我们也应首先建立电路模型,然后用电路的基本概念、各种定律和定理在电路模型上进行分析 and 计算。

1.1.1 电路

电路就是电的传送路径,它由电源、负载和中间环节组成,图 1.1 是按实物画出的手电筒电路的示意图,它由电源(干电池)、小电珠(负载)和开关(中间环节)三部分组成,导线是连接这三部分必不可少的。当闭合开关 S 时,正电荷便从电源正极通过导线源源不断地流经小电珠中的灯丝,回到电源负极。灯丝的作用是把电能变成了光能和热能。

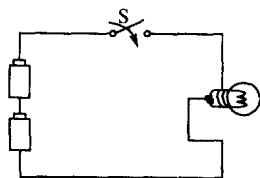


图 1.1 手电筒电路

在这个例子中,电路的功能是把电能传送到小电珠里,并通过小电珠实现了能量的转换。日常生活中使用发电厂送出的电能经过变压器等中间环节最后到达用电器,如电风扇、冰箱等转换成人们所需要的各种其他能量,都类似此例。

电路的另一个重要功能是实现电信号的传递和处理。例如收音机电路可把远方广播电台送出的信号经过放大、检波处理,最后还原成声音供人们收听。电话、电视、计算机等都属于这个范畴。

总之,虽然实际电路种类很多,但就其功能来说,可概括为两大类:一是作为能量的传输或转换;二是实现电信号的传递和处理。

1.1.2 电路模型

用实物画出的电路人们一眼就能认出哪个是干电池、哪个是小电珠,的确比较直观,但是画起来麻烦,而且在很多场合下也不现实。例如画电风扇、日光灯管、电视机荧光屏等画起来就较费事,而且较复杂的电路中成百上千的零件一个个按实物画出来也不现实,为此人们采用一些符号来代替这些实物,这些符号就叫元件的模型,用这些符号画出的电路图就叫电路模型。图 1.2 为理想电阻、电容、电感的元件模型。所谓“理想”指的是对一个元件只考虑它的主要功能,例如一个电感元件是用绝缘的漆包铜线一圈一圈绕在一个骨架上制成的,如图 1.3(a)所示,它的主要功能就是起电感作用,用电感理想模型画出来就如图 1.3(b)所示。但既然是铜线绕成,肯定或多或少要有一些电阻,在理想电感中我们就把它的电阻忽略了,即不考虑它的电阻性,另外各线圈之间也含有分布电容,此电容我们也忽略了,所以实际上真正的“理想”是不存在的。这种只抓主要矛盾的方法并不影响我们去分析电路,正如物理学中的“质点”一样,真正的质点虽然不存在,但并不影响我们利用质点的概念去学习牛顿三定律。

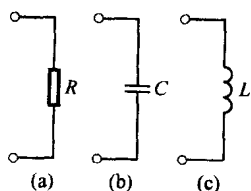


图 1.2 理想电阻、电容、电感的元件模型

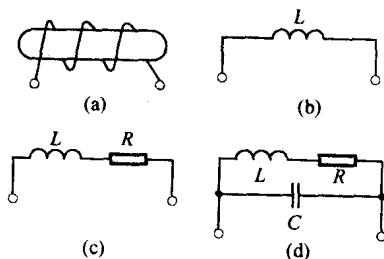


图 1.3 实际电感元件

需要注意的是,在进一步的学习中,例如高频电路中,若必须考虑电阻的影响,则可用一个理想电感 L 串一个理想电阻 R 来等效实际电感,如图 1.3(c)所示。若还需考虑线圈间分布电容的影响,则可用图 1.3(d)的等效图,这里的 R 、 C 就是实际电感本身的线圈电阻和线圈之间的分布电容,即可以用三个理想元件模型来表示真实的电感。

有了电路模型的概念,图 1.1 所示的手电筒电路,就可简单表示为图 1.4 所示。其中 U_S 表示干电池两端电压,而干电池的内阻则用 R_0 或 R_S 表示,并且将 R_S 从电池内部拿到它的外部,因为 R_S 与 U_S 是串联的,所以 R_S 画在 U_S 符号的上边或下边都行,图 1.4 中 R 表示小电珠的电阻。

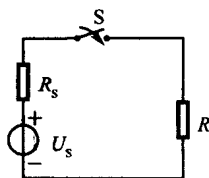


图 1.4 手电筒的电路模型

1.2 电流、电压和电功率

电流、电压和电功率是电路中的三个重要变量,人们分析电路时,最关心的也是这三个量。

1.2.1 电流

电流的大小称为电流强度,简称电流。其定义为:单位时间内通过导体横截面的电荷量,它的方向规定为正电荷的流动方向。

根据国家标准,不随时间变化的恒定物理量用大写字母表示,而随时间变化的物理量用小写字母表示,例如我们用 I 表示直流电流,用 Q 表示在时间 t 内通过导体横截面的电荷量;用 i 表示随时间变化的电流,用 dq 表示在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量,则这两种情况下的电流表达式分别为

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

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

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培,简称安(A),对于很小的电流可用毫安(mA)或微安(μ A)甚至纳安(nA)作为单位,它们的关系是:

$$1 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)} = 10^6 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^9 \text{ 纳安(nA)}$$

1.2.2 电压

电压的定义为:a、b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所做的功。如图 1.5 所示,如果用 U 表示直流电压,把电荷 Q 由 a 点移到 b 点电场力做的功表示为 W ;用 u 表示随时间变化的电压,把电荷 dq 由 a 点移到 b 点电场力做的功表示为 dW ,则这两种情况下电阻 R 两端电压可表示为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

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

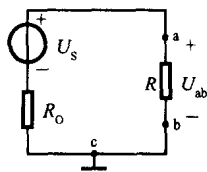


图 1.5 定义电压示意图 V_a 表示 a 点的电位。

为了分析问题方便,人们常在电路中设置一个参考点,其他各点相对于参考点的电压叫做电位。由于参考点作为其他各点与之比较的标准,因此我们规定它为零伏,图 1.5 的 c 点即为参考点。在实际电路中,人们常选接地点为参考点,各点相对于参考点的电位用字母“V”表示,下标中常用小写字母表示某点,如

有了电位的概念,则电压实际上就是两点间的电位差,如

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

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),简称伏。把 1 库仑(C)的正电荷从 a 点移到 b 点,电场力所做的功为 1 焦耳(J),则 a、b 两点间的电压为 1 伏(V),参考点处认为是零伏(V)。

大的电压单位采用千伏(kV)表示,对于很小的电压可用毫伏(mV)或微伏(μ V)作为单位,它们的关系为

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千伏(kV)} &= 10^3 \text{ 伏(V)} \\ 1 \text{ 伏(V)} &= 10^3 \text{ 毫伏(mV)} = 10^6 \text{ 微伏}(\mu\text{V}) \end{aligned}$$

1.2.3 电功率

电功率的定义为:单位时间电场力所做的功。为了更具普遍意义,这里我们用随时间变化的功率定义式,若在 dt 时间内电场力做的功为 $d\omega$,则电功率 p 为

$$p = \frac{d\omega}{dt}$$

把(1-2)式 $i = \frac{dq}{dt}$ 和(1-4)式 $u = \frac{d\omega}{dq}$ 代入上式得

$$p = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = u \cdot i \quad (1-6)$$

这就是计算功率的公式,当电压、电流不随时间变化时,上式也可用来计算直流状态下的功率。

在国际单位制中,功率的单位用瓦特表示,简称瓦(W),1 瓦功率等于每秒产生(或消耗)1 焦耳(J)的功。对于大的功率还可以用千瓦(kW)表示,对于小的功率可以用毫瓦(mW)表示,它们的关系为

$$1 \text{ 千瓦(kW)} = 10^3 \text{ 瓦(W)} \quad 1 \text{ 瓦(W)} = 10^3 \text{ 毫瓦(mW)}$$

为了表明电路中某个元件是产生功率还是消耗功率,这里必须引入电流、电压的参考方向概念,及二者之间方向的关联与非关联的概念。在图 1.6 中,在求解各电阻上的电流、电压时,有些是很容易看出电流、电压的实际方向的,例如 R_1 上的电流 I_1 、电压 U_1 的方向。而有些是难以在计算结果出来前判断出它的真实方向的,例如 R_6 上的电流,究竟是从 a 点流向 b 点呢还是从 b 点流向 a 点呢? 为此我们引入“参考方向”的概念,原则上说参考方向是可以任意设定的,但为了计算方便,所设的方向应尽量与实际方向一致,不要人为地自找麻烦。

例如,在图 1.6 中电阻 R_1 上的电流 I_1 、电压 U_1 所设的参考方向就与用电表测量的方向一致。在 R_6 上,由于暂时还不知道它的真实方向,只好任意设定 I_6 、 U_6 的方向了。

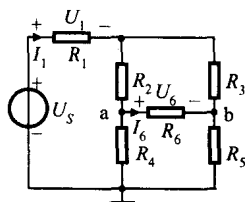


图 1.6 电压、电流参考方向

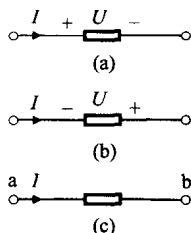


图 1.7 电流、电压方向的关联和非关联

为了计算方便,常将元件两端电压的参考方向与电流的参考方向设定为一致,称为关联参考方向。所谓“关联”,指的就是所设定的电流方向与所设定的电压降低的方向一致,如图 1.7(a)所示的参考方向就是 I 、 U 关联的参考方向,而图 1.7(b) I 、 U 的方向则为非关联方向。

对于电阻元件,常常只画出 I 、 U 中一个变量的方向,而另一个则默认为与它关联。图 1.7(c)中只画出了电流 I 的参考方向,这里已默认了它的电压降参考方向为 a 点高、 b 点低,与图 1.7(a)一致。

需要特别指出:实际方向指的是用电流表测量电流时,串在电路中电流表的“+”端接真实电流的入端,另一端接出端;电压表并在电路中,表的“+”端接高电位端,“-”端接低电位端。这样测得的电流、电压的方向就是实际方向,而电路原理中把标在电路图中的电流、电压方向一律看成参考方向。

有了参考方向与关联的概念,则电功率计算式(1-6)就可以表示为以下两种形式:

当 i 、 u 方向关联时为

$$p = +iu \quad (\text{直流功率 } P = IU) \quad (1-7)$$

当 i 、 u 方向非关联时为

$$p = -iu \quad (\text{直流功率 } P = -IU) \quad (1-8)$$

无论用(1-7)式还是(1-8)式,只要计算结果 $p > 0$,则该元件就是吸收功率的,即消耗功率;若 $p < 0$,则该元件(一般为电源)是发出(产生)功率的。

根据能量守恒定律,对一个完整的电路,发出功率的总和应正好等于吸收功率的总和。

【例 1-1】 在图 1.8 中,已知电源 $U_S = 6V$,电路中的电流 $I = 2A$,试计算电源功率和电阻功率。

解 电阻 R 上的 I 、 U 方向关联,所以由(1-7)式得

$$P_R = +IU = 2 \times 6 = 12W$$

因 $P_R > 0$,所以电阻 R 吸收功率 12W(或者说是发出功率 -12W)。

电源 U_S 上的 I 、 U 方向非关联,由(1-8)式得

$$P_S = -IU = -2 \times 6 = -12W$$

因 $P_S < 0$,所以电源为发出功率 12W(也可说是吸收功率 -12W)。

显然,同一电路中吸收功率与发出功率在数值上是相等的,用此方法可验证计算结果

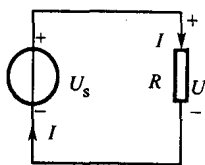


图 1.8 例 1-1 图