



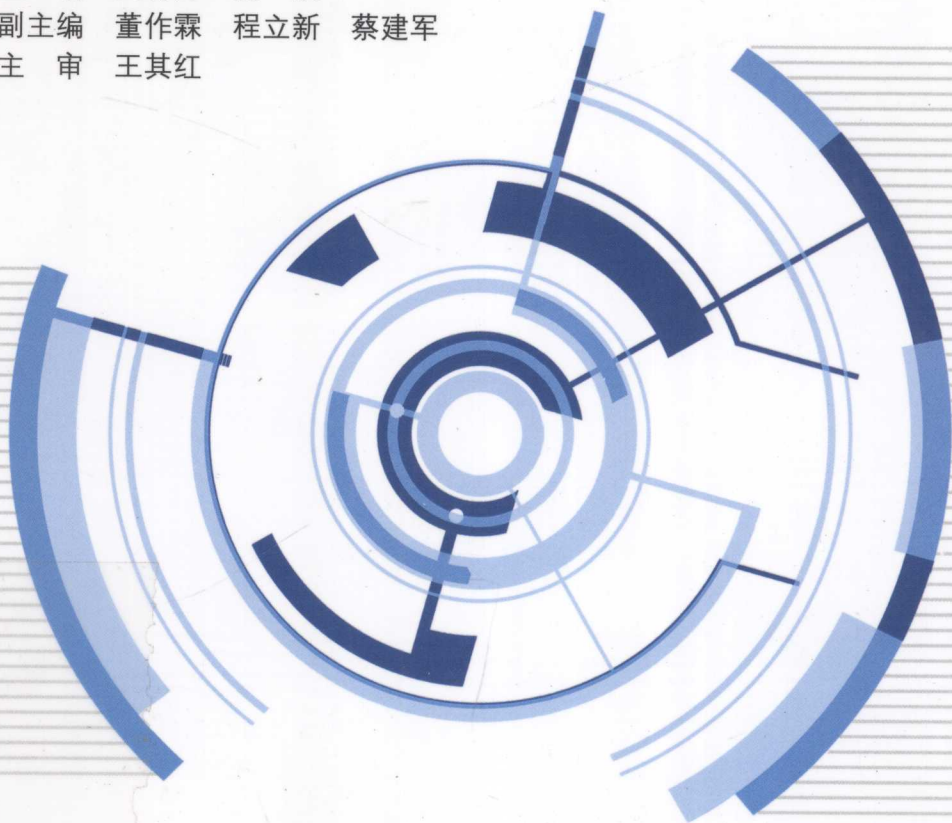
面向“十二五”高等学校精品规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

电路基础

(第2版)

DIANLU JICHU

主 编 吴青萍 沈 凯
副主编 董作霖 程立新 蔡建军
主 审 王其红



982

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十二五”高等学校精品规划教材
高等教育课程改革项目研究成果

DIAN LU JI CHU

电路基础

(第2版)

■ 主 编 吴青萍 沈 凯
■ 副主编 董作霖 程立新 蔡建军
■ 主 审 王其红



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是高等院校电子信息类专业的基础理论教材。全书由电路的基本概念和基本定律、直流电阻电路的分析、线性动态电路的时域分析、正弦交流电路的稳态分析、三相电路、谐振电路、互感耦合电路、非正弦周期交流电路、Multisim2001在电路分析中的应用共9章内容组成。某些带“*”号的章节供学生自学,以帮助学生扩大知识面,增加分析问题和解决问题的能力。计划学时数为80学时左右。

全书基本概念讲述透彻;基本分析方法归类恰当,思路清晰,步骤明确;例题丰富、习题匹配;并引入Multisim仿真软件用于电路分析,有利于学生加深对电路知识的理解。

本书是一本面向高等院校电子信息等相关专业的电路基础教材,也可以作为高职高专的同类专业和其他专业选用,也适合从事电力、电子、通信等行业的工程技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 吴青萍, 沈凯主编. —2版. —北京:
北京理工大学出版社, 2010.7
ISBN 978-7-5640-1127-7

I. ①电… II. ①吴… ②沈… III. ①电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 151045 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京慧美印刷有限公司

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 365千字

版 次 / 2010年7月第2版 2010年7月第8次印刷

印 数 / 18001~19000册

定 价 / 35.00元

责任编辑 / 王艳丽

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

第2版前言

为了更好地适应高等教育教学改革和发展的需要,有效地提高教育教学质量,《电路基础》(第2版)在第1版的基础上进行了相应的补充和完善,修订后的内容更加注重理论与实际的联系,注重培养学生解决实际问题的能力,提高学生的动手能力,体现了高等教育的新思路和新方法。

本书具有以下一些特点:

(1) 以行业、企业发展需要和完成职业岗位工作任务所学的知识、能力、素质为要求,把职业岗位所需知识编入教材,满足了特定职业岗位或岗位群对专业知识的需求,充分体现应用型本科教材的职业性和实践性。为此,本书开始就明确了“本门课程对应岗位”、“岗位需求知识点”,达到让学生在学习本课程之前,就清楚地知道哪些内容是自己最应该掌握的,哪些内容是只需要了解的,哪些内容对自己未来的发展是有利的,同时明确了自己在学完这门课后,可以从事哪些工作。

(2) 破除了大段文字叙述的传统模式,在保证基础理论、基本知识够用的前提下,注重实际应用。本书每章以图文并茂的形式将典型的、实际应用的实例作为“先导案例”,以问题的形式引出所涉及的理论与实践知识,最后,对提出的问题得出解决方案,即“先导案例解决”。这样将理论知识与生产实际相结合,加深学生对理论知识的理解和掌握,培养学生的工程思维和应用所学知识解决实际问题的能力。

(3) 教材内容取舍得当,内容安排上以“必须”、“够用”为原则,注重新方法、新技术、新工艺的应用。同时,为了给学有潜力和有兴趣的学生提供更多的方便,本书增加了“知识拓展”模块,将理论知识与实践应用加以延伸,使不同层次的学生得到不同的发展,体现出因材施教的教学原则。

(4) 书中增加了“生产学习经验”模块,联系工程实际

培养学生创新精神与实践能力和实践能力，使学生在掌握理论知识的基础上能够学以致用，融会贯通。

(5) 充分利用 Multisim2001 仿真软件，将课堂讲授与仿真演示有机结合并融为一体，充分调动学生的积极性和主动性，加强理论教学与实践教学的结合，注重理论内容与实践内容的分工和互补，实现教、学、做一体化，边讲边练。

本书第1、第5章由程立新老师编写，第2章及每一章的“本章知识点”、“先导案例”、“先导案例解决”、“知识拓展”、“生产学习经验”及“本章小结”模块由沈凯老师编写，第3、第8章由董作霖老师编写，第4、第9章由吴青萍老师编写，第6、第7章由蔡建军老师编写。全书由吴青萍、沈凯老师统稿并修改，王其红教授对全书进行了认真审阅，并提出了不少宝贵建议。本书在编写过程中参考了不少同行们编写的优秀教材，从中得到了不少启发。在此，一并致以诚挚的感谢！

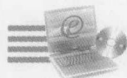
由于时间仓促、编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请同行们给予批评指正。

编 者

目录 >>>>

Contents

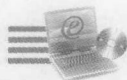
第1章 电路的基本概念与基本定律	1	本章小结	24
1.1 电路和电路模型	2	习 题	25
1.1.1 实际电路的组成与功能	2		
1.1.2 电路模型	3	第2章 直流电阻电路的分析	30
1.1.3 单位制	3	2.1 电路的等效	31
1.2 电路的基本物理量	4	2.1.1 电路等效的一般概念	31
1.2.1 电流	4	2.1.2 电阻的串联、并联与混联	31
1.2.2 电压	6	2.1.3 理想电源的串联与并联	34
1.2.3 电功率与电能	7	2.2 电阻星形与三角形电路的 等效变换	35
1.3 电阻元件	9	2.2.1 星形电路等效变换为三角形电路	36
1.3.1 电阻与电阻元件	9	2.2.2 三角形电路等效变换为星形电路	36
1.3.2 电阻元件的伏安特性 ——欧姆定律	9	2.3 两种电源模型的等效变换	38
1.3.3 电阻元件上消耗的 功率与能量	11	2.3.1 两种电源模型的等效变换	38
1.4 电压源与电流源	12	2.3.2 几种有源支路的等效变换	40
1.4.1 电压源	12	2.4 支路电流法	42
1.4.2 电流源	13	2.5 节点电位法	44
1.4.3 实际电源的两种电路模型	13	2.5.1 节点电位法	44
1.5 基尔霍夫定律	15	2.5.2 弥尔曼定理	47
1.5.1 几个相关的电路名词	15	2.6 网孔电流法	48
1.5.2 基尔霍夫电流定律	16	2.6.1 网孔电流	48
1.5.3 基尔霍夫电压定律	17	2.6.2 网孔电流法	48
1.5.4 基尔霍夫定律的应用举例	19	2.7 叠加定理和齐性定理	50
1.6 电路中各点电位的分析	21	2.7.1 叠加定理	51
1.6.1 电位的概念	21	2.7.2 齐性定理	54
1.6.2 电路中各点电位的分析	21	*2.8 置换定理	55
1.6.3 等电位点	22	2.9 等效电源定理	56
1.6.4 电子电路的习惯画法	23	——戴维南定理与诺顿定理	56
		2.9.1 戴维南定理	57



2.9.2 诺顿定理	60	本章小结	109
2.10 最大功率传输定理	61	习 题	110
2.11 受控源	63		
2.11.1 受控源的概念	63	第4章 正弦交流电路的稳态分析	113
2.11.2 受控源的分类	63	4.1 正弦交流电的基本概念	114
2.11.3 含受控源电路的分析	64	4.1.1 正弦量的三要素	115
本章小结	67	4.1.2 相位差	119
习 题	69	4.1.3 正弦量的有效值	121
		4.2 正弦量的相量表示及运算	122
第3章 线性动态电路的时域分析	76	4.2.1 复数及四则运算	123
3.1 电容元件	77	4.2.2 正弦量的相量表示法	125
3.1.1 电容器和电容元件	77	4.2.3 用相量法求同频率	
3.1.2 电容元件的伏安关系	77	正弦量之和	128
3.1.3 电容的储能	80	4.3 电阻元件上电压与电流的	
3.1.4 电容器的串、并联	81	相量关系	129
3.2 电感元件	82	4.3.1 电阻元件上相量形式的	
3.2.1 电感线圈和电感元件	82	伏安特性	129
3.2.2 电感元件的伏安关系	83	4.3.2 电阻元件的功率	131
3.2.3 电感的储能	85	4.4 电感元件上电压与电流的	
3.3 换路定律与初始值的计算	85	相量关系	132
3.3.1 过渡过程的概念	85	4.4.1 电感元件上相量形式的	
3.3.2 换路定律	86	伏安特性	132
3.3.3 初始值的计算	87	4.4.2 电感元件的功率	134
3.4 一阶电路的零输入响应	89	4.4.3 电感元件中储存的磁场能量	135
3.4.1 RC 串联电路的零输入响应	90	4.5 电容元件上电压与电流的	
3.4.2 RL 串联电路的零输入响应	92	相量关系	136
3.5 一阶电路的零状态响应	96	4.5.1 电容元件上相量形式的	
3.5.1 RC 串联电路的零状态响应	96	伏安特性	136
3.5.2 RL 串联电路的零状态响应	98	4.5.2 电容元件的功率	138
3.6 一阶电路的全响应	102	4.5.3 电容元件中储存的电场能量	139
3.7 一阶电路的三要素法	104	4.6 相量形式的基尔霍夫定律	140
*3.8 过渡过程的应用	106	4.6.1 相量形式的基尔霍夫电流定律	141
3.8.1 微分电路	107	4.6.2 相量形式的基尔霍夫电压定律	141
3.8.2 积分电路	108	4.6.3 参考正弦量和参考相量	141



4.7 用相量法分析 RLC 串联电路	
及多阻抗串联电路	143
4.7.1 电压与电流的关系	143
4.7.2 RLC 串联电路的功率	146
4.7.3 多阻抗串联电路的分析	150
4.8 用相量法分析并联电路	151
4.8.1 阻抗法分析并联电路	151
4.8.2 导纳法分析并联电路	153
*4.9 用相量法分析复杂正弦交流电路	157
4.9.1 网孔电流法分析正弦交流电路	157
4.9.2 节点电压法分析正弦交流电路	158
4.9.3 戴维南定理分析正弦交流电路	159
4.10 功率因数的提高	160
4.10.1 提高功率因数的意义	160
4.10.2 提高功率因数的方法与计算	161
4.11 正弦交流电路中负载获得最大功率的条件	163
*4.12 交流电路的实际元件	164
4.12.1 电阻器	164
4.12.2 线圈	165
4.12.3 电容器	165
本章小结	166
习 题	168
第5章 三相电路	174
5.1 三相电源	174
5.1.1 对称三相电源	175
5.1.2 三相电源的连接	176
5.2 对称三相电路的分析	178
5.2.1 负载星形接法的三相电路	178
5.2.2 负载三角形接法的三相电路	181
5.3 三相电路的功率	183
5.3.1 三相电路的有功功率	183
5.3.2 三相电路的无功功率	184
5.3.3 三相电路的视在功率	184
本章小结	186
习 题	187
第6章 谐振电路	189
6.1 串联谐振	190
6.1.1 串联谐振的条件	190
6.1.2 串联谐振电路的特性阻抗和品质因数	190
6.1.3 串联谐振电路的特性	191
6.1.4 串联谐振电路的谐振曲线	192
6.1.5 串联谐振电路的选择性与通频带	193
6.1.6 电压源内阻及负载电阻的影响	195
6.2 并联谐振电路	196
6.2.1 并联谐振的条件	196
6.2.2 并联谐振电路的特性	197
6.2.3 并联谐振电路的谐振曲线	197
6.2.4 并联谐振电路选择性与通频带	199
6.2.5 电源内阻及负载电阻的影响	199
*6.3 谐振的应用	199
6.3.1 串联谐振电路的应用	199
6.3.2 并联谐振电路的应用	200
本章小结	202
习 题	203
第7章 互感耦合电路	204
7.1 互感	205
7.1.1 互感现象及互感原理	205
7.1.2 互感系数	205
7.1.3 耦合系数	206



7.2 互感电压	206	8.3.3 非正弦周期电流电路的 平均功率	230
7.2.1 同名端	206	8.4 线性非正弦周期电流电路的 分析与计算	231
7.2.2 同名端的判定	207	本章小结	233
7.2.3 互感电压	208	习 题	235
7.3 耦合电感的去耦等效变换	210	第9章 Multisim 2001 在电路分析中 的应用	237
7.3.1 串联耦合电感的去耦 等效变换	210	9.1 Multisim 2001 的基本使用 方法	238
7.3.2 并联耦合电感的去耦 等效变换	211	9.1.1 Multisim 2001 对系统的要求和 软件安装	238
7.3.3 单侧连接的去耦等效变换	212	9.1.2 Multisim 2001 窗口界面	238
7.4 理想变压器	214	9.1.3 Multisim 2001 的电路创建	241
7.4.1 定义与电路符号	214	9.1.4 电路分析中常用的虚拟 仿真仪器	242
7.4.2 阻抗变换	214	9.2 Multisim 仿真实验内容	246
7.4.3 含理想变压器电路的 分析计算	215	9.2.1 基尔霍夫定律仿真实验	246
本章小结	217	9.2.2 叠加定理仿真实验	248
习 题	217	9.2.3 戴维南定理仿真实验	249
第8章 非正弦周期电流电路	220	9.2.4 一阶电路的暂态特性仿真实验	251
8.1 非正弦周期信号	221	9.2.5 微分电路和积分电路仿真实验	253
8.1.1 非正弦周期信号产生的原因	221	9.2.6 延时开关电路仿真实验	255
8.1.2 常见的非正弦周期信号	222	9.2.7 正弦交流电路仿真实验	257
8.1.3 非正弦周期信号的表示	222	9.2.8 RLC 串联谐振电路仿真实验	260
8.2 非正弦周期信号的频谱	223	9.2.9 非正弦交流电路仿真实验	262
8.2.1 周期函数的傅里叶级数	223	部分习题参考答案	265
8.2.2 非正弦周期信号的频谱	227	参考文献	271
8.3 非正弦周期信号的有效值、 平均值、平均功率	228		
8.3.1 非正弦周期信号的有效值	228		
8.3.2 非正弦周期信号的平均值	229		

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

本章知识点

1. 掌握电路模型的概念及电路基本物理量的概念
2. 掌握电阻元件、电压源、电流源的伏安特性
3. 掌握电路的整体约束关系——基尔霍夫定律
4. 掌握电位的概念及计算方法

先导案例

手电筒（如图 1-1 所示）是日常生活中最常用的照明工具，手电筒电路就是一个最简单的实际电路，如图 1-2 所示。手电筒中的灯泡为何能点亮？它是如何工作的呢？

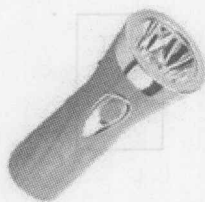


图 1-1 手电筒

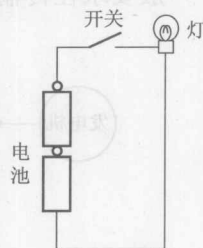
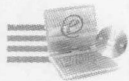


图 1-2 手电筒电路

电路模型的概念，电路的基本物理量——电压、电流以及参考方向的概念，电阻、电压源、电流源等电路基本元件的约束关系——伏安特性，电路整体约束关系——基尔霍夫定律，都是电路的基础知识，是电路分析的基本依据，贯穿于全书。只有掌握了这些基本概念和定律才能进一步学习后续内容。



1.1 电路和电路模型

1.1.1 实际电路的组成与功能

日常生活和工作中,人们会遇到各种各样的电路。如照明电路、收音机中选取所需电台的调谐电路、电视机中的放大电路,以及生产和科研中各种专门用途的电路等。电路(circuit)是由电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体,它提供电流流通的路径。电路一般由电源、负载、导线和控制设备组成。

电源是对外提供电能的装置,它将其他形式的能量转换成电能。例如,干电池和蓄电池将化学能转换成电能,发电机将热能、水能、风能、原子能等转换成电能。电源是电路中能量的来源,是推动电流运动的源泉,在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

负载是取用电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如,白炽灯将电能转换成光能,电动机将电能转换为机械能,电炉将电能转换为热能等。

导线和控制设备用来连接电源和负载,为电流提供通路,起传递和控制电能的作用,并根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能和作用一般有两类。

第一类功能是进行能量的传输和转换。常用于电力用电系统,其电路示意图如图 1-3 (a) 所示,发电机将其他形式的能量转换成电能,经变压器、输电线传输到各用电部门,在用电部门又通过电灯、电动机、电炉等负载把电能转换成光能、机械能、热能等能量而加以利用。在这类电路中,一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少能量损耗以提高效率。

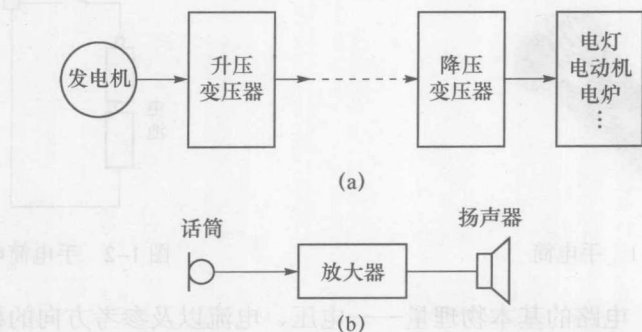


图 1-3 电路示意图

第二类功能是进行信号的传递与处理。常见的例子如扩音器,其电路示意图如图 1-3 (b) 所示,话筒作为信号源将声音转换为电信号,扬声器作为负载将电信号还原为声音信



号。由于话筒输出的电信号较微弱,不能直接推动扬声器发音,所以通过中间环节放大器来放大电信号,即完成信号的处理。电视机也是一种信号的传递与处理电路,接收天线(信号源)将接收到载有声音、图像的电磁波转换为电信号,经过调谐、变频、检波、放大等中间环节进行信号的处理,然后送到显像管和扬声器还原为图像和声音。对于这一类电路,虽然也有能量的传输和转换问题,但人们更关心的是对信号处理的质量,如要求准确、不失真等。

1.1.2 电路模型

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的,不是单一的。例如白炽灯、电加热器,它们在通电工作时能把电能转换成热能,消耗电能,具有电阻的性质,但其电压和电流还会产生电场和磁场,故也具有储存电场能量和磁场能量即电容和电感的性质。

在进行电路的分析和计算中,如果要考虑一个器件所有的电磁性质,则将是十分困难的。为此,对于组成实际电路的各种器件,应该忽略其次要因素,只抓住其主要电磁特性,把工程实际中的各种设备和电路元件用有限的几个理想化的电路元件(circuit element)来表示。例如,白炽灯可用只具有消耗电能的性质,而没有电场和磁场特性的理想电阻元件来近似表征;一个电感线圈可用只具有储存磁场能量的性质,而没有电阻及电容特性的理想电感元件来表征。这种由一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型(circuit model),图1-4即为图1-2的电路模型。

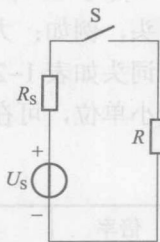


图 1-4 电路模型

用特定的符号表示实际电路元件而连接成的图形叫作电路图(circuit diagram)。人们在进行理论分析时所指的电路就是这种电路模型。这种替代会带来一定的误差,但在一定的条件下可以忽略这一微小的误差,待研究清楚基本规律后,在实际工程问题中需要更精密地做研究时,再考虑由于这种替代所带来的误差。根据对电路模型的分析所得出的结论有着广泛而实际的指导意义。

理想电路元件简称电路元件,通常包括电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。前三种元件均不产生能量,称为无源元件;后两种元件是电路中提供能量的元件,称为有源元件。

1.1.3 单位制

1984年国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,明确规定国际单位制(SI)是我国法定计量单位的基础。在国际单位制中的7个基本单位如表1-1所示。其他物理量的单位可以根据其定义从这些基本单位中导出。

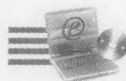


表 1-1 国际单位制 (SI) 的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长 度	米	m
质 量	千克	kg
时 间	秒	s
电 流	安培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

除了 SI 单位之外, 根据实际情况, 需要使用较大单位和较小单位时, 则在 SI 单位上加词头, 例如: 大的长度单位用千米 (km) 表示, 小的长度单位用毫米 (mm) 表示等。常用的词头如表 1-2 所示, 以后讨论电路物理量的单位时, 均按 SI 单位执行, 若需要采用较大或较小单位, 可在 SI 单位前加上倍数和分数词头。

表 1-2 国际单位制 (SI) 常用倍数和分数词头

倍率	词头名称	词头符号	倍率	词头名称	词头符号
10^{18}	艾	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳	n
10^3	千	k	10^{-12}	皮	p
10^2	百	h	10^{-15}	飞	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿	a

1.2 电路的基本物理量

在电路理论中分析和研究的物理量很多, 但主要的是电流、电压和电功率, 其中电流、电压是电路中的基本物理量。

1.2.1 电流

在物理中已经讲述过, 电荷的定向移动形成电流 (current)。电流的实际方向一般是指正



电荷运动的方向。电流的大小通常用电流强度 (current intensity) 来表示, 电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上简称为电流。

电流主要分为两类: 一类为恒定电流, 其大小和方向均不随时间而变化, 简称为直流 (direct current), 常简写作 dc 或 DC, 其强度用符号 I 表示。另一类为变动电流, 其大小和方向均随时间而变化, 其强度用符号 i 表示。其中, 一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流电流 (alternating current), 常简写作 ac 或 AC, 其强度也用符号 i 表示。

图 1-5 给出了几种常见电流, 图 1-5 (a) 为直流, 图 1-5 (b)、图 1-5 (c) 均为交流。其中图 1-5 (b) 为正弦交流电流, 图 1-5 (c) 为锯齿波电流。

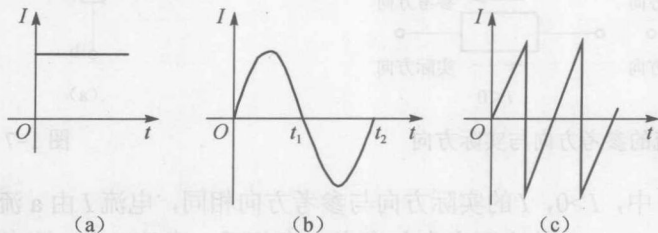


图 1-5 几种常见电流

对于直流电流, 单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的, 其电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

对于变动电流 (含交流), 若假设在一很小的时间间隔 dt 内, 通过导体横截面的电荷量为 dq , 则该瞬间电流强度为

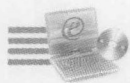
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2)$$

电流的单位是安培 (ampere), SI 符号为 A。它表示 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑 (C)。有时也会用到千安 (kA)、毫安 (mA) 或微安 (μA) 等, 其关系如下:

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

在分析比较复杂的电路时, 某一段电路中电流的实际方向很难立即判断出来, 有时电流的实际方向还会不断改变, 因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了分析方便, 下面引入电流的“参考方向” (reference direction) 这一概念。

在一段电路或一个电路元件中, 事先任意假设的一个电流方向称为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意假设, 但电流的实际方向是客观存在的, 因此, 所假设的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。本书中用实线箭头表示电流的参考方向, 用虚线箭头表示电流的实际方向。电流的参考方向与实际方向如图 1-6 所示。



由图 1-6 可以看出, 当 $i > 0$ 时, 电流的实际方向与假设的参考方向一致; 当 $i < 0$ 时, 电流的实际方向与假设的参考方向相反。

当然, 电流的参考方向也可以用双下标表示, 如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。

电流的实际方向是客观存在的, 它不因其参考方向选择的不同而改变, 即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时, 电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

例 1.1 如图 1-7 所示, 电路上电流的参考方向已选定。试指出各电流的实际方向。

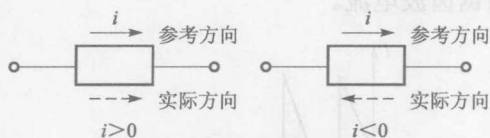


图 1-6 电流的参考方向与实际方向

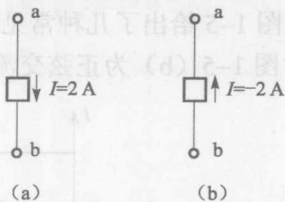


图 1-7 例 1.1 图

解: 图 1-7 (a) 中, $I > 0$, I 的实际方向与参考方向相同, 电流 I 由 a 流向 b, 大小为 2 A。

图 1-7 (b) 中, $I < 0$, I 的实际方向与参考方向相反, 电流 I 由 a 流向 b, 大小为 2 A。

1.2.2 电压

电路分析中另一个基本物理量是电压 (voltage)。

在物理中已经讲述过, 直流电路中 a、b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。

在直流电路中, 电压为一恒定值, 用 U 表示, 即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.3)$$

在变动电流电路中, 电压为一变值, 用 u 表示, 即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1.4)$$

电压的单位是伏特 (volt), 简称伏, SI 符号为 V, 即电场力将 1 库仑 (C) 正电荷由 a 点移至 b 点所做的功为 1 焦耳 (J) 时, a、b 两点间的电压为 1 V。

有时也需用千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μ V) 作电压的单位。

像电流需要指定参考方向一样, 在电路分析中, 也需要指定电压的参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。电路图中, 电压的参考方向一般用 “+”、“-” 极性表示 (电压参考方向由 “+” 极性指向 “-” 极性), 如图 1-8 所示。

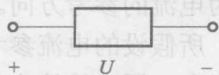


图 1-8 电压的参考方向表示法

当然, 电压的参考方向也可用实线箭头或双下标 u_{ab} (电压



参考方向由 a 点指向 b 点) 表示。

当 $u > 0$, 即电压值为正时, 电压的实际方向与它的参考方向一致; 反之, 当 $u < 0$, 即电压值为负时, 电压的实际方向与它的参考方向相反。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-9 所示。

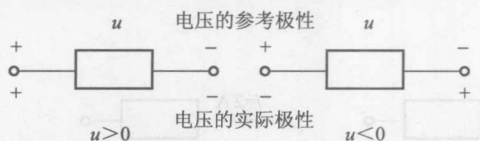


图 1-9 电压的参考方向与实际方向

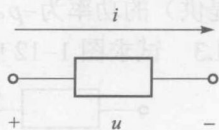


图 1-10 电流和电压的关联参考方向

例 1.2 如图 1-11 所示, 电路上电压的参考方向已选定。试指出各电压的实际方向。

解: 图 1-11 (a) 中, $U > 0$, U 的实际方向与参考方向相同, 电压 U 由 a 指向 b, 大小为 10 V。

图 1-11 (b) 中, $U < 0$, U 的实际方向与参考方向相反, 电压 U 由 b 指向 a, 大小为 10 V。

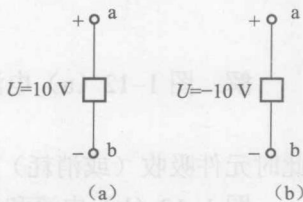


图 1-11 例 1.2 图

1.2.3 电功率与电能

1. 电功率

在电路的分析和计算中, 功率和能量的计算是十分重要的。这是因为: 一方面, 电路在工作时总伴随着其他形式能量的相互交换; 另一方面, 电气设备和电路部件本身都有功率的限制, 在使用时要注意其电流或电压是否超过额定值, 过载会使设备或部件损坏, 或是无法正常工作。

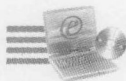
电路吸收 (或消耗) 的功率等于单位时间内电路吸收 (或消耗) 的能量。由此可定义

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1.5)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒定量, 故

$$P = UI \quad (1.6)$$

式 (1.5) 和式 (1.6) 中, 电流和电压为关联参考方向, 计算的功率为电路吸收 (或消耗) 的功率。当某段电路上电流和电压为非关联参考方向时, 这段电路吸收 (或消耗) 的功率为



$$p = -ui \quad \text{示零 (沿 } d \text{ 向流点 } b \text{ 由向)} \quad (1.7)$$

$$P = -UI \quad (1.8)$$

在 SI 中, 功率的单位为瓦特 (Watt), 简称瓦, SI 符号为 W。

根据实际情况, 电路吸收 (或消耗) 的功率有以下几种情况:

- ① $p > 0$, 说明该段电路吸收 (或消耗) 功率为 p ;
- ② $p = 0$, 说明该段电路不吸收 (或消耗) 功率;
- ③ $p < 0$, 说明该段电路吸收 (或消耗) 功率为 p , 而实际上是输出 (或提供) 功率, 输出 (或提供) 的功率为 $-p$ 。

例 1.3 试求图 1-12 中元件的功率。

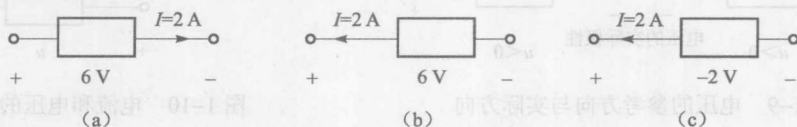


图 1-12 例 1.3 图

解: 图 1-12 (a) 电流和电压为关联参考方向, 故元件吸收的功率为

$$P = UI = (6 \times 2) \text{ W} = 12 \text{ W}$$

此时元件吸收 (或消耗) 的功率为 12 W。

图 1-12 (b) 电流和电压为非关联参考方向, 故元件吸收的功率为

$$P = -UI = (-6 \times 2) \text{ W} = -12 \text{ W}$$

此时元件输出 (或提供) 的功率为 12 W。

图 1-12 (c) 电流和电压为非关联参考方向, 故元件吸收的功率为

$$P = -UI = (-(-2) \times 2) \text{ W} = 4 \text{ W}$$

此时元件吸收 (或消耗) 的功率为 4 W。

2. 电能

从 t_0 到 t 的时间内, 元件吸收的电能可根据电压的定义 (a、b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功) 求得, 即

$$W = \int_{t_0}^t u(i)i(t)dt \quad (1.9)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒定量, 在 $0 \sim t$ 段时间内电路消耗的电能

$$W = UI t = P t \quad (1.10)$$

若功率的单位为 W, 时间的单位为 s, 则电能的 SI 单位是焦耳, 符号为 J。

在实际生活中, 电能的单位常用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电能通常称作一度电。一度电为