



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电路基础

(第三版)

王松林 吴大正 李小平 王 辉 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

T/M13
126(3)
1=

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路基础

(第三版)

王松林 吴大正 李小平 王 辉 编著

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,内容符合国家教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会最新制定的《高等学校电路分析基础课程教学基本要求》。

全书包括电路的基本规律、电阻电路分析、动态电路、正弦稳态分析、电路的频率响应和谐振现象、二端口电路和非线性电路七章,以及复数及其运算、OrCAD/PSpice 工具使用简介和 MATLAB 工具使用简介三个附录。各章配有大量例题、不同层次的习题、工程应用实例及仿真实例供选用。

本书可作为电子、通信、计算机、自控、微电子、测控与仪器类等各专业“电路”或“电路分析基础”课程教材,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/王松林等编著. —3 版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2008.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 0864 - 8

I. 电… II. 王… III. 电路理论—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 094829 号

责任编辑 云立实 张晓燕

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008年8月第3版 2008年8月第15次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 27.75

字 数 656千字

印 数 90 001~94 000册

定 价 39.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 0864 - 8/TN · 0148

XDUP 1135023-15

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

第三版前言

本书是西安电子科技大学国家电工电子教学基地和国家级电工电子教学团队对电路基础课程进行教学改革成果之一。

以培养高素质的创新型和工程应用型人才为目标,以教育部新颁布的《高等学校电路分析基础课程教学基本要求》为指导,按照国家“十一五”规划教材建设的要求,结合近几年建设电路课程的体会和读者意见,我们对本书的第二版进行了全面修订。本次修订的主要工作包括:

(1) 保留了第二版的基本架构,保持了各章节中心明确、层次清楚、概念准确、论述简明、便于教学的特点。

(2) 注重从数学、物理分析向工程应用过渡,加强理论联系实际。书中结合有关章节内容,增加了 25 个应用实例分析,以激发学生的学习兴趣 and 热情。

(3) 尝试在各章以实例的形式安排了简单的电路设计和故障诊断问题,以培养学生综合运用电路知识的技能和逻辑思维的能力,启迪学生的创新意识。

(4) 集成电路技术在科研、生产乃至日常生活的各个层面起着越来越重要的作用,书中在强调电路基本知识的同时,适当地介绍了集成电路的有关知识,使学生感受集成电路的特点。

(5) 增加了集成运算放大器的内容,并将其贯穿于全书的各章,使学生在 学习电路基础知识的同时,学会利用集成电路设计出各种较复杂的实用电路。

(6) 为适应计算机在工程技术领域的广泛应用,书中介绍了一种通用的辅助计算软件 MATLAB 和一种专用的电路仿真软件 PSpice,并给出应用实例,以培养学生使用计算机辅助分析电路的能力。

(7) 书末增添了中英文对照索引,以便学生检索相关内容并熟悉与电路有关的英文词汇。

本书精选了大量例题,并配有不同层次的习题、工程应用实例及仿真实例,请酌情选用。有关工程应用、电路设计和故障诊断以及计算机电路仿真等内容,书中尽可能以实例的形式出现,以便在使用本书作教材时,授课教师可根据学生的能力、培养计划和学时等因素,结合讲授内容灵活地选用或指导学生课后阅读。

本书由吴大正、王松林负责总策划,提出各章的修改计划。王松林、李小平、王辉参与全书的修订和编写。

本书的编写得到了学校有关部门和国家电工电子教学基地的指导和支持;借鉴了从事电路教学的各位老师多年教学实践的成果并听取了同学们的意见,在此一并表示诚挚的感谢。

本书承张永瑞教授精心审阅,提出了宝贵意见,谨致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,一些内容也是首次尝试引入,难免存在疏漏和差错,敬请读者对教材体系和内容提出宝贵意见。

编著者

2008 年 5 月

第三版前言

第二版前言

《电路基础》自 1991 年出版以来已逾 9 年。根据教育部 1998 年发布的《面向 21 世纪教育振兴行动计划》的精神和 1995 年制定的《高等工业学校电路分析基础课程教学基本要求》，结合多年来教学实践的体会和读者意见，我们对原书进行了全面修订。

本版保留了原书的体系、结构和各章节中心明确、层次清楚、概念准确、论述简明、便于教学的特点，并对部分章节作了适当的调整、增删，主要有：

(1) 将动态元件移入第三章(动态电路)，谐振电路移入第五章，节点方程的矩阵形式移入附录三中并增编了 PSpice 简介；

(2) 删除了影像参数、二端口元件等较为专门的内容；

(3) 改进了许多内容(如一阶电路的三要素公式，电路的频率响应等)的论述方法。

本书配合正文选编了不同层次的习题，题量较多，请酌情选用，书末附有部分习题答案。

本书由吴大正主编和统稿，王松林编写了第一、二、五、七章和附录，王玉华编写了第三、四、六章。

本书的编写得到了西安电子科技大学校、院(系)有关部门和各级领导的指导和支持；编写中吸取了从事电路教学的各位老师多年教学实践的成果和同学们的意见，在此一并表示诚挚的感谢。

本书承蒙张永瑞教授精心审阅，提出了宝贵意见，谨致以衷心的感谢。

限于编者水平，书中定有不少疏漏和差错，敬请各位老师和同学赐教。

编者

1999 年 12 月

第一版前言

多年来,在《电路分析基础》课程的教学,先后使用过多种教材和讲义。为适应电子技术和电路理论的迅速发展,根据国家教委颁布的《电路分析基础课程教学基本要求》和我校的《教学大纲》,在教学实施中,对教材内容不断地进行了调整、提炼和更新,逐步形成了有一定特色的讲稿,经试用修改后,编写了这本教材。

编写中主要考虑了以下几个方面:

为适应微电子技术的进展,本书突出了端口特性、端口等效和端口线性的概念,用前后一致的观点和分析方法处理教学内容。强调了端口等效是指“端口伏安特性完全相同”的数学描述;将齐次定理、叠加定理并列,更完整地阐明了线性性质。这不仅使等效、线性等物理含义表述得更为准确,而且更为深刻、广泛。书中还从端口特性的角度介绍并分析了运算放大器、有源滤波器、回转器等,引出了分析非线性电路的分段线性化方法。

为了适应计算机辅助分析和设计的进展,本书有针对性地加强了有关基本概念和基本分析方法。强调了基本方程的列写和灵活运用,介绍了2b法、支路法、特勒根定理等内容,降低了用手工计算复杂电路数值解的要求,删去了与计算机辅助分析重复的内容。

考虑到目前学生的物理学知识水平,适当地提高了教材的起点,对在物理中已学过的内容只作必要的说明,并在此基础上加深和提高。

在编写中,充分考虑了本教材的教学适用性。在内容安排上,既遵循电路理论本身的系统和结构,也注意了适应学生的认识规律。并合理地、有序地组织教材内容,使各章、节的中心明确,层次清楚、概念准确、论述简明。对概念、定理、方法等不仅正确地表述其内容,更要阐明其具体应用条件、场合以及在不同情况如何变通处理等。书中配有较多的例题,用以加深对概念的理解和说明如何灵活运用基本概念和方法分析具体的电路问题,介绍了一些实用电路知识和实际知识。各章均有数量较多的习题,供选用。

本书包括:电路的基本规律,电阻电路分析,动态电路,正弦稳态分析,频率响应,二端口电路,非线性电路等7章。法定单位,复数及其运算列为附录。书中标有*号的属加深加宽的内容,请酌情选用。本书教学时数约为90~100学时。

本书第一、二、五、七章由吴大正编写并负责全书统稿,第三、四、六章由王玉华编写。

本书的编写得到西安电子科技大学有关部门和十二系领导的指导和支持。本书无论从内容安排到具体的论述,也贯注了本校从事电路课教学的各位老师多年来教学实践的成果。张永瑞、杨林耀、燕庆明三位副教授对本书初稿,提出了许多宝贵的意见,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,定有不少错误和不妥之处,敬请使用本书的老师和同学赐教。

编者

1990年10月

目 录

第 1 章 电路的基本规律	1
1.1 引言	1
1.1.1 电路模型	1
1.1.2 集中参数电路	1
1.1.3 电路理论与本书的任务	2
1.2 电流、电压、功率	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 功率和能量	5
1.3 基尔霍夫定律	7
1.3.1 电路图	7
1.3.2 基尔霍夫电流定律	8
1.3.3 基尔霍夫电压定律	10
1.4 电阻元件	11
1.4.1 二端电阻	11
1.4.2 二端口电阻	13
1.4.3 分立电阻与集成电阻	15
1.5 电源	17
1.5.1 电压源	17
1.5.2 电流源	18
1.5.3 电路中的参考点	20
1.5.4 受控源	22
1.6 电路等效	25
1.6.1 电路等效的概念	25
1.6.2 电阻的串联和并联等效	26
1.6.3 电阻 Y 形电路与 Δ 形电路的等效变换	28
1.6.4 等效电阻	31
1.6.5 线性二端口电阻的等效电路	32
1.6.6 器件电路模型的建立	33
1.7 含独立源电路的等效	35
1.7.1 独立源的串联和并联	35
1.7.2 实际电源的两种模型及其等效变换	37
1.7.3 电源的等效转移	40
1.8 运算放大器	42
1.8.1 运放的外部特性和电路模型	42
1.8.2 理想运算放大器	44

1.8.3 含运放的电阻电路分析	46
1.9 应用实例	48
1.9.1 用电安全与人体电路模型	48
1.9.2 热电导率气体分析器电路——电桥平衡	48
1.9.3 电压表电流表量程扩展	49
1.9.4 MOSFET 实现数字系统的门电路	53
1.10 电路设计与故障诊断	53
1.10.1 电路设计	53
1.10.2 电路的故障诊断	55
习题 1	57
第 2 章 电阻电路分析	66
2.1 图与电路方程	66
2.1.1 图	66
2.1.2 回路、割集、树	67
2.1.3 KCL 和 KVL 的独立方程	69
2.2 2b 法和支路法	71
2.2.1 2b 法	71
2.2.2 支路法	72
2.3 回路法和网孔法	75
2.4 节点法	80
2.5 齐次定理和叠加定理	85
2.5.1 齐次定理	85
2.5.2 叠加定理	86
2.6 替代定理	89
2.7 等效电源定理	91
2.7.1 等效电源定理	91
2.7.2 最大功率传输条件	98
2.8 特勒根定理和互易定理	100
2.8.1 特勒根定理	100
2.8.2 互易定理	101
2.9 电路的对偶性	103
2.10 应用实例	104
2.10.1 D/A 转换电路	104
2.10.2 仪用集成运算放大器及其应用	106
2.10.3 实际电压表的负载效应	109
2.10.4 灵敏度电路与伴随电路	110
2.11 电路设计与故障诊断	113
2.11.1 电路设计实例	113
2.11.2 复杂电路的故障诊断	116
习题 2	117
第 3 章 动态电路	127
3.1 动态元件	127
3.1.1 电容	127

3.1.2	电感	131
3.1.3	电容、电感的串联和并联	133
3.1.4	分立电容器、集成 MOS 电容器与电感器	135
3.2	动态电路方程及其解	137
3.2.1	动态电路方程	137
3.2.2	固有响应和强迫响应、暂态响应和稳态响应	139
3.3	电路的初始值	142
3.3.1	独立初始值	142
3.3.2	非独立初始值	143
3.4	动态电路的响应	146
3.4.1	零输入响应	147
3.4.2	零状态响应	149
3.4.3	全响应	152
3.5	一阶电路的三要素公式	153
3.5.1	三要素公式	153
3.5.2	三要素的计算	155
3.6	阶跃函数和阶跃响应	163
3.6.1	单位阶跃函数	163
3.6.2	阶跃响应	164
3.7	二阶电路分析	168
3.7.1	rLC 串联电路的零输入响应	169
3.7.2	rLC 串联电路的阶跃响应	174
3.7.3	GCL 并联电路分析	174
3.8	正弦激励下一阶电路的响应	177
3.9	应用实例	178
3.9.1	电梯接近开关	178
3.9.2	闪光灯电路	179
3.9.3	汽车自动点火电路分析	180
3.9.4	继电器电路	181
3.9.5	数字集成电路中的频率限制	182
3.9.6	示波器探头 RC 补偿电路	183
3.10	电路设计与故障诊断	184
3.10.1	延时电路设计	184
3.10.2	模拟计算机的电路设计	185
3.10.3	一阶动态电路设计	186
3.10.4	电容器和电感器的主要故障现象	187
习题 3		188
第 4 章 正弦稳态分析		198
4.1	正弦量	198
4.1.1	正弦量的三要素	198
4.1.2	相位差	199
4.1.3	正弦量的有效值	200
4.2	相量法的基本概念	202

4.2.1	正弦量与相量	202
4.2.2	正弦量的相量运算	204
4.3	电路定律的相量形式	205
4.3.1	KCL 和 KVL 的相量形式	205
4.3.2	基本元件 VAR 的相量形式	206
4.4	阻抗与导纳	210
4.4.1	阻抗	210
4.4.2	导纳	212
4.4.3	阻抗与导纳的关系	214
4.4.4	正弦稳态电路的计算	216
4.5	正弦稳态电路的功率	223
4.5.1	一端口电路的功率	223
4.5.2	平均功率、无功功率和视在功率	224
4.5.3	复功率	225
4.5.4	最大功率传输条件	227
4.5.5	多频电路的平均功率和有效值	230
4.6	互感耦合电路	232
4.6.1	耦合电感	232
4.6.2	耦合电感的伏安关系	233
4.6.3	去耦等效电路	236
4.6.4	互感电路的正弦稳态计算	238
4.7	变压器	244
4.7.1	全耦合变压器	244
4.7.2	理想变压器	246
4.7.3	实际变压器的模型	249
4.8	三相电路	250
4.8.1	三相电源	250
4.8.2	对称三相电路的计算	252
4.9	应用实例	256
4.9.1	移相器电路	256
4.9.2	功率因数(pf)校正及用电费用	257
4.9.3	日光灯电路分析	260
4.9.4	功率表和三表法测线圈参数	261
4.9.5	电气设备开断产生的过压现象	263
4.10	电路设计与故障诊断	264
4.10.1	电路设计	264
4.10.2	变压器的常见故障现象	266
习题 4		266
第 5 章 电路的频率响应和谐振现象		277
5.1	频率响应与网络函数	277
5.2	一阶电路和二阶电路的频率响应	280
5.2.1	一阶电路	280
5.2.2	二阶电路	281

5.3 串联谐振电路	286
5.3.1 RLC 串联谐振	286
5.3.2 品质因数	288
5.3.3 频率响应	290
5.4 并联谐振电路	292
5.4.1 GCL 并联谐振	292
5.4.2 实用的简单并联谐振电路	294
5.4.3 复杂并联谐振电路	296
5.5 应用实例	302
5.5.1 低音音量控制电路	302
5.5.2 信号分离电路	303
5.5.3 无线电接收机的调谐电路	305
5.6 电路设计	306
习题 5	308
第 6 章 二端口电路	315
6.1 二端口电路的方程和参数	316
6.1.1 开路和短路参数	316
6.1.2 传输参数	322
6.1.3 混合参数	323
6.2 二端口电路的等效	327
6.2.1 二端口电路(含独立源)表示定理	327
6.2.2 二端口电路(不含独立源)的等效	329
6.3 二端口电路的连接	331
6.3.1 级联	331
6.3.2 串联和并联	332
6.3.3 二端口电路连接的相容性	334
6.4 二端口电路的网络函数	335
6.4.1 策动点函数	335
6.4.2 转移函数	337
6.4.3 特性阻抗	341
6.5 应用实例和电路设计	342
6.5.1 阻抗匹配电路设计	342
6.5.2 衰减器电路设计	342
6.5.3 回转器及其应用	344
习题 6	346
* 第 7 章 非线性电路	352
7.1 非线性元件	352
7.1.1 非线性电阻	352
7.1.2 非线性电容	355
7.1.3 非线性电感	356
7.2 非线性电阻的串联和并联	357
7.2.1 非线性电阻的串联	357
7.2.2 非线性电阻的并联	359

7.3	非线性电阻电路分析	360
7.3.1	电路方程	360
7.3.2	图解法	361
7.3.3	分段线性化法	363
7.3.4	小信号分析法	365
7.4	非线性动态电路	367
7.4.1	电路方程	367
7.4.2	平衡点	370
7.4.3	分段线性化法	372
7.5	应用实例	374
7.5.1	全波整流滤波电路	375
7.5.2	限幅电路	375
7.5.3	稳压二极管和稳压电路	376
7.5.4	电压比较器实现过压报警电路	376
7.5.5	非线性电路中的混沌现象	378
习题 7		381
附录		387
附录一	复数及其运算	387
附录二	OrCAD/PSpice 工具使用简介	391
附录三	MATLAB 工具使用简介	403
部分习题答案		413
索引(汉语拼音顺序)		425
参考文献		431

第1章 电路的基本规律

1.1 引言

1.1.1 电路模型

实际电路是由零、部件(如电阻器、电容器、线圈、开关、晶体管、电池、发电机等)按一定的方式相互连接组成的。它们可完成各种具体的任务,譬如,电力系统的发电机将热能(或水位能、原子能等)转换为电磁能,经输电线传送给各用电设备(如电灯、电动机等),这些设备将电磁能转换为光、热、机械能等。我们把供给电磁能的设备统称为电源,把用电设备统称为负载。又如,生产过程中的控制电路用传感器将所观测的物理量(如温度、流量、压力等)变换为电信号(电压或电流),经过适当的“加工”处理得出控制信号,用以控制生产操作(如断开电炉的电源停止加热或接通电源加热等);电视机将接收到的高频电信号经过变换、处理(如选频、放大、解调等),将分离出的图像信号送到显像管,在控制信号的作用下,将信号显示为画面,同时将伴音信号传送到扬声器转换为声音。实际电路的功能繁多,概括地说,电路的主要作用是能量的传输和信号的处理。在电源的作用下,电路中产生电压和电流,因此,电源又称激励源,由激励在电路中产生的电流和电压统称为响应。根据激励与响应之间的因果关系,有时又把激励称为输入,响应称为输出。

分析任何一个物理系统,都要用理想化的模型描述该系统。经典力学中的质点就是小物体的模型,质点的几何尺寸为零,但确有一定的质量,有确定的位置和速度等。要分析实际电路的物理过程也需构造出能反映该实际电路物理性质的理想化模型,也就是用一些理想化的元件,相互连接组成理想化电路(电路模型),用以描述该实际电路,进而对电路模型进行分析,其所得结果就反映了实际电路的物理过程。

电路理论研究的对象不是实际电路,而是理想化的电路模型。电路理论中所说的电路是指由一些理想化的电路元件按一定方式连接组成的总体。

1.1.2 集中参数电路

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象,用电流、电压(有时还用电荷、磁通)来描述其中的过程。我们只关心各器件端的电流和端子间的电压,而不涉及器件内部的物理过程。这只有在满足集中化假设的条件下才是合理的。

实际的器件、连接导线以及由它们连接成的实际电路都有一定的尺寸,占有一定的空间,而电磁能量的传播速度($c=3\times 10^8$ m/s)是有限的,如果电路尺寸 l 远小于电路最高工作频率 f 所对应的波长 λ ($\lambda=c/f$),则可以认为传送到实际电路各处的电磁能量是同时到达的。这时,与电磁波的波长相比,电路尺寸可以忽略不计。从电磁场理论的观点来看,整

个实际电路可看做是电磁空间的一个点,这与经典力学中把小物体看做质点相类似。

当实际电路的几何尺寸远小于工作波长时,我们用能足够精确反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际元件,这种理想化的电路元件称为集中(或集总)参数元件,它们有确定的电磁性质和确切的数学定义。可以认为,电磁能量的消耗都集中于电阻元件,电能只集中于电容元件,磁能只集中于电感元件。对于这些具有二端子的集中参数元件,可用其流经端子的电流和二端子间的电压来描述它们的电磁性能,而端电流和端子间的电压仅是时间的函数,与空间位置无关,在任一时刻,它们都是单值的量。

由集中参数元件连接组成的电路称为集中参数电路。通常所说的电路图是用“理想导线”将一些电路元件符号按一定规律连接组成的图形。电路图中,元件符号的大小、连线的长短和形状都是无关紧要的,只要能正确地表明各电路元件之间的连接关系即可。

实际电路的几何尺寸相差甚大。对于我国的电力输电线,其工作频率为 50 Hz,相应的波长为 6000 km,因而 30 km 长的输电线只是波长的 $1/200$,可以看做是集中参数电路,而远距离输电线可长达数百乃至数千千米,就不能看做是集中参数电路。对于电视天线及其传输线来说,其工作频率为 10^8 Hz 的数量级,譬如 10 频道,其工作频率约为 200 MHz,其相应的工作波长为 1.5 m,这时 0.2 m 长的传输线也不能看做是集中参数电路。对于不符合集中化假设的实际电路,需要用分布参数电路理论或电磁场理论来研究。本书只讨论集中参数电路,今后所说的“元件”、“电路”均指理想化的集中参数元件和电路。

需要注意的是,不应把实际器件(有的也称为元件)与电路元件(理想化的)混为一谈。各种电子设备使用的电阻器、电容器、线圈、晶体管等,在一定的条件下,可用某种电路元件或一些电路元件的组合来模拟。同一个器件,由于工作条件不同或精度要求不同,它的模型也不相同。譬如,一个线圈可用电感元件作它的模型;而在需要考虑其损耗时,可用电阻与电感相串联组成的模型来描述;在高频时,线圈绕线间的分布电容不能忽视,这时,描述该线圈的更精确的模型还应包含电容元件。

用理想化的模型模拟实际电路总有一定的近似性,也就是说,用电路元件互连来模拟实际电路,只是近似地反映实际电路中所发生的物理过程。不过,由于电路元件有确切的定义,分析运算是严谨的,这就能保证这种近似有一定的精度,而且还可根据实际情况改善电路模型,使电路模型所描述的物理过程更加逼近实际电路的物理过程。大量的实践经验表明,只要电路模型选取适当,按理想化电路分析计算的结果与相应实际电路的观测结果是一致的。当然,如果电路模型选取不当,则会造成较大的误差,有时甚至得出互相矛盾的结果。

1.1.3 电路理论与本书的任务

电路理论起源于物理学中电磁学的一个分支,若从欧姆定律(1827 年)和基尔霍夫定律(1845 年)的发现算起,至今至少已有 160 多年的历史。随着电力和通信工程技术的发展,电路理论逐渐形成为一门比较系统且应用广泛的工程学科。自 20 世纪 60 年代以来,新的电子器件不断涌现,集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路的飞跃进展,计算机技术的迅猛发展和广泛使用等,都给电路理论提出了新课题,促进了电路理论的发展。

电路理论是研究电路的基本规律及其计算方法的工程学科。它包括电路分析和网络^①综合与设计两类问题。电路分析的任务是根据已知的电路结构和元件参数,求解电路的特性;电路综合与设计是根据所提出的对电路性能的要求,确定合适的电路结构和元件参数,实现所需要的电路性能。近年来,有些学者提出电路的“故障诊断”应作为电路理论的第三类问题。电路的故障诊断是指预报故障的发生及确定故障的位置、识别故障元件的参数等技术。电路的综合与设计、电路的故障诊断都以电路分析为基础。

电路理论的内容十分广泛,它是电工、电子和信息科学技术的重要理论基础之一。在通信、控制、计算机、电力等众多科学技术领域,广泛使用各种类型的电路:线性的与非线性的、时变的与非时变的、模拟的与数字的,等等,它们种类繁多,功能各异。电路理论基础的任务是研讨各种电路所共有的基本规律和基本分析计算方法。

作为电路理论的基础和入门,本书主要讨论电路分析的基本规律(电路元件的伏安关系、基尔霍夫定律和电路定理)和电路的各种计算方法,为学习后续课程打下基础。

学习本课程,应深入地理解电路的基本规律及有关物理概念,学会分析、计算电路的方法,并充分了解相关规律、概念、方法的适用范围和使用条件,以使用所学的电路基础理论知识去解决今后学习和工作中遇到的电路问题。

1.2 电流、电压、功率

描述电路性能的物理量可分为基本变量和复合变量两类。电流、电压是电路分析中最常用的两个基本变量,有时也用电荷、磁通(或磁链)作为基本变量;复合变量包括功率和能量。它们一般都是时间的函数。

1.2.1 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷量 q 定义为电流强度,简称电流,用符号 i 或 $i(t)$ ^②表示,即

$$i(t) \stackrel{\text{def} \textcircled{3}}{=} \frac{dq(t)}{dt} \quad (1.2-1)$$

式中,电荷量的单位是库(C),时间的单位是秒(s),电流的单位是安(A)。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向,但在具体电路中,电流的实际方向常常随时间变化,即使不随时间变化,对较复杂电路中电流的实际方向有时也难以预先断定,因此,往往很难在电路中标明电流的实际方向。

通常在分析电路问题时,先指定某一方向为电流方向,称为电流的参考方向,用箭头表示,如图1.2-1中实线箭头所示。如果电流的参考方向与实际方向(虚线箭头)一致,则

① “电路”和“(电)网络”两个术语一般不加区分。以往,当涉及到综合理论时,常用“网络”一词,近来,鉴于“网络”一词应用甚广,如“计算机网络”、“通信网络”、“运输网络”、“信息网络”等,有人建议在电路领域内只用“电路”一词。这个意见目前尚未被普遍接受。

② 本书用小写字母表示随时间变化的量,如 $i(t)$ 、 $q(t)$ 等,在不致引起误会的情况下,常省去 (t) ,用 i 、 q 表示。

③ 符号 $\stackrel{\text{def}}{=}$ …可读为“定义为…”,或“按定义等于…”。

电流 i 为正值 ($i > 0$), 如图 1.2-1(a) 所示; 如果电流的参考方向与实际方向相反, 则电流取负值 ($i < 0$), 如图 1.2-1(b) 所示。这样, 在指定的电流参考方向下, 电流值的正或负就反映了电流的实际方向。显然, 在未指定参考方向的情况下, 讨论电流值的正或负是没有意义的。



图 1.2-1 电流的参考方向

电流的参考方向是任意指定的, 一般用箭头表示, 有时也用双下标表示, 如 i_{ab} 表示其参考方向为由 a 指向 b 。今后在电路图中只标明参考方向。

1.2.2 电压

电路中, 电场力将单位正电荷从某点移到另一点所作的功定义为该两点之间的电压, 也称电位差, 用 u 或 $u(t)$ 表示, 即

$$u(t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1.2-2)$$

式中, 功 $w(t)$ 的单位是焦(J), 电压的单位是伏(V)。

通常, 两点间电压的高电位端为“+”极, 低电位端为“-”极。

像需要为电流指定参考方向一样, 也需要为电压指定参考极性(也称参考方向, “+”极到“-”极的方向)。在分析电路问题时, 先指定电压的参考极性, “+”号表示高电位端, “-”号表示低电位端, 如图 1.2-2(a) 所示。如果电压的参考极性与实际极性一致, 则电压 $u > 0$; 如果参考极性与实际极性相反, 则电压 $u < 0$ 。

电压的参考极性是任意指定的, 一般用“+”、“-”极性表示; 有时也用箭头表示参考极性(如图 1.2-2(b) 所示), 箭头由“+”极指向“-”极; 也可用双下标表示, 如 u_{ab} 表示 a 点为“+”极, b 点为“-”极。

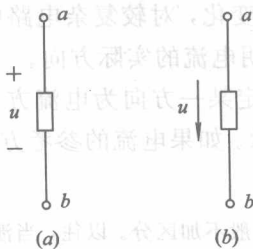


图 1.2-2 电压的参考极性

电流、电压的参考方向在电路分析中起着十分重要的作用。电流、电压是代数量, 既有数值又有与之相应的参考方向才有明确的物理意义, 只有数值而无参考方向的电流、电压是没有意义的。

对一个元件或一段电路上的电压、电流的参考方向，可以分别独立地任意指定，但为了方便，常常采用关联参考方向，即电流的参考方向和电压的参考方向一致，如图 1.2-3(a) 所示。这时在电路图上只需标明电流参考方向或电压参考极性中的任何一种即可。电流、电压参考方向相反时称为非关联参考方向，如图 1.2-3(b) 所示。



图 1.2-3 参考方向

今后，在任意瞬间 t 的电流、电压分别用 $i(t)$ 、 $u(t)$ 表示，也常简写为 i 、 u 。如果它们的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流、直流电压，用大写字母 I 、 U 表示。

在实际应用中，上述电流、电压的单位有时过小或过大，这时可在各单位前加适当的词头，形成十进倍数单位和分数单位，例如 $1\text{ }\mu\text{A}$ (微安) $=10^{-6}\text{ A}$ ， 1 mV (毫伏) $=10^{-3}\text{ V}$ ， $3\text{ k}\Omega$ (千欧) $=3\times10^3\text{ }\Omega$ ， 2 GHz (吉赫) $=2\times10^9\text{ Hz}$ ，等等。部分常用国际单位制词头见表 1-1。

表 1-1 部分国际单位制 (SI) 词头

因数	词 头		符号	因数	词 头		符号
	中文	英文			中文	英文	
10^{12}	太[拉]	tera	T	10^{-3}	毫	milli	m
10^9	吉[咖]	giga	G	10^{-6}	微	micro	μ
10^6	兆	mega	M	10^{-9}	纳[诺]	nano	n
10^3	千	kilo	k	10^{-12}	皮[可]	pico	p

1.2.3 功率和能量

功率与电压和电流密切相关。正电荷从电路元件上电压的“+”极经元件移到“-”极是电场力对电荷做功的结果，这时元件吸收能量；反之，正电荷从电路元件的“-”极移到“+”极，则必须由外力(化学力、电磁力等)对电荷做功以克服电场力，这时电路元件发出能量。

若某元件两端的电压为 u ，在 dt 时间内流过该元件的电荷量为 dq ，那么，根据电压的定义式(1.2-2)，电场力作的功 $d w(t)=u(t) d q(t)$ 。

在电流与电压为关联参考方向的情况下(这时，正电荷从电压“+”极移到“-”极)，由式(1.2-1)和式(1.2-2)可得，在 dt 时间内电场力所作的功，即该元件吸收的能量为

$$d w(t)=u(t) i(t) d t \tag{1.2-3}$$

能量对时间的变化率称为电功率。于是，电路元件吸收的电功率 $p(t)$ 定义为

$$p(t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d w(t)}{d t}=u(t) i(t) \tag{1.2-4a}$$

电功率简称功率，单位是瓦(W)。