

高等学校用书

电路基础

主 编 刘宗行
副主编 颜 芳



重庆大学出版社

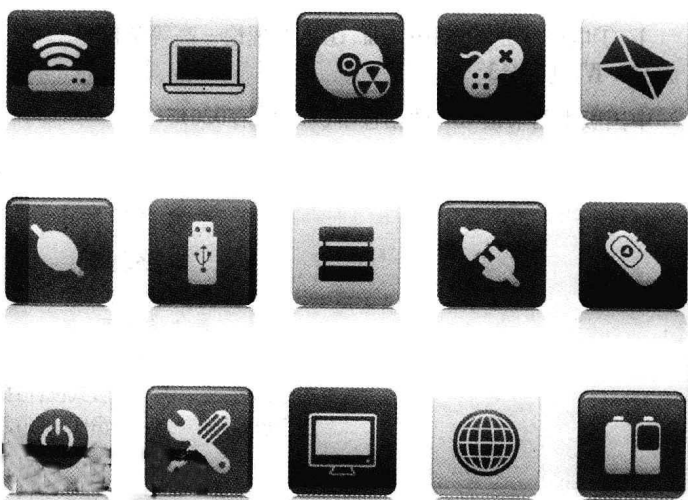
<http://www.cqup.com.cn>

电路基础

主 编 刘宗行

副主编 颜 芳

编 者 刘宗行 颜 芳 方 敏 宋焱翼



内容提要

本书按照“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分委员会”2004年制订的“电路理论基础课程教学基本要求”和“电路分析基础课程教学基本要求”选编全书的内容,着重于课程教学基本要求中的基本内容。

全书分8章,内容有:电路模型和电路定律、电路分析方法和电路定理、正弦电流电路的分析、含耦合电感元件的电路和三相电路、二端口网络、电路的频率特性、线性动态电路暂态过程的时域分析、线性动态电路暂态过程的复频域分析。书末附有习题答案。

本书适合于普通高等学校电气、电子、通信、自动化等电气信息类专业作为电路课程的教材使用,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/刘宗行主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-5624-7230-8

I. ①电… II. ①刘… 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(2013)第 026151 号

高等学校用书

电路基础

主 编 刘宗行

副主编 颜 芳

策划编辑 王 勇

责任编辑:王 勇 版式设计:黄梭棚

责任校对:陈 力 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆五环印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:480千

2013年2月第1版 2013年2月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7230-8 定价:35.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

电路课程是高等学校电气信息类专业的重要基础课,是电类专业学生的必修课。1985年教育部委托“工科电工课程教学指导委员会”制订了“高等工业学校电路课程教学基本要求”(参考学时:130~160学时)、“高等工业学校电路分析基础课程教学基本要求”(参考学时:90~120学时),将教学内容分为甲、乙两类,甲类内容要求深刻理解、牢固掌握,乙类内容要求理解、掌握。随着电气信息类专业人才培养方案和教学内容课程体系改革的不断深入,电路课程的教学内容和学时都在不断地变革。1995年“电工课程教学指导委员会”曾对课程教学基本要求进行了修订。2005年“教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”又重新制订了“电路理论基础课程教学基本要求”和“电路分析基础课程教学基本要求”,将教学内容分为基本内容和扩展内容。近20多年来,尽管电路课程的教学内容以及部分知识点讲述的深度都有一定的变化,但从整体上讲,其基本内容是相对稳定的,而学时数已经减少。如何在有限的学时内使学生牢固地掌握电路理论的基本知识、基本理论、基本方法是承担电路课程的教师所面临的课题。

作为电子信息科学与电气信息类专业基础课程,其主要任务是通过课程的学习,使学生掌握电路理论的基本知识、基本理论和分析电路的基本方法,为后续课程准备必要的电路理论知识。在内容的选择和整体安排上,根据课程教学基本要求,本书力求削枝强干,着力于基本内容。全书以线性电路的分析的内容为主,分8章。第一章讲述电路模型和电路定律;第二章讲述电路分析方法和电路定理;第三章讲述正弦电流电路的分析;第四章讲述含耦合电感的电路和三相电路;第五章讲述二端口网络;第六章讲述电路的频率特性;第七章讲述线性动态电路的时域分析;第八章讲述线性动态电路的复频

域分析。

在内容的安排上本书采用了先稳态,后暂态。随着教育教学改革的不断深化,在一些专业的人才培养方案中,电路课程已经安排在一年级第二学期。先稳态,后暂态的安排可以保障学生在高等数学课程讲授常系数线性微分方程内容以后再学习动态电路,使学生有足够的数学基础。在讲授电路的基本分析方法和电路定理之后,接着讲述正弦电流电路的分析,在内容的承前启后上也是有利的。在线性动态电路的时域分析之后接着安排复频域分析,内容的联系更为紧密,有利于学生的学习。

基于教学内容在课程体系中整体优化的考虑,状态变量分析的内容归入“信号与系统”“自动控制原理”课程。含有运算放大器的电路的分析仍然归入“模拟电子技术”课程之中。减少课程之间的内容重复,有利于用有限的学时来阐述本课程的基本内容。基于着重基本内容的考虑,本书未过多地涉及网络图论、电路方程的矩阵形式等内容。

本书的编写尽力着眼于对学生学习的适应性。教材的读者主要是学生,学生是学习的主体,使教材更有助于学生的学习是编者努力的目标。在内容的表述上本书力求深入浅出,将基本概念、基本理论、基本方法讲清讲透;对一些难点内容(例如含耦合电感元件的电路的分析、动态电路的分析),适当增加篇幅,阐述得细一点,增加例题,便于学生阅读和理解;同一个例题从不同的角度去阐述,用不同的方法去求解,让学生能更深刻地理解、更好地掌握基本内容。

本书的第一、二、三、四章由刘宗行执笔,第五章由宋焱翼执笔,第六章的后半部分和第七章由颜芳执笔,第七章的前半部分和第八章由方敏执行。颜芳选编了各章的习题并承担了大量的绘图工作。全书由刘宗行统稿、定稿。

在本书的编写过程中,重庆大学通信工程学院给予了很多支持。李新科、雷剑梅对本书提出了有益的建议。重庆大学电气工程学院谭邦定教授对本书提出了宝贵的修改意见,作者深表谢意。限于编者的水平,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。意见请寄重庆大学通信工程学院(邮编 400044),电子邮件至 yanfang@cqu.edu.cn。

编者

2012年10月

目录

绪 论	1
第一章 电路模型和电路定律	3
1-1 电路和电路模型	3
1-2 电路变量	5
1-2-1 电流及其参考方向	5
1-2-2 电压及其参考方向	6
1-3 电功率和能量	8
1-4 基尔霍夫定律	10
1-4-1 基尔霍夫电流定律	11
1-4-2 基尔霍夫电压定律	13
1-5 电阻元件	14
1-5-1 线性电阻元件	14
1-5-2 非线性电阻元件	16
1-6 独立源	17
1-6-1 电压源	17
1-6-2 电流源	19
1-7 受控源	20
1-8 电容元件	22
1-9 电感元件	27
习 题	30
第二章 电路分析方法和电路定理	34
2-1 两类约束及 KCL、KVL 方程的独立性	34
2-2 支路分析法	37
2-2-1 2b 法	37
2-2-2 支路电流法	38

2-2-3 支路电压法	40
2-3 节点分析法和改进的节点分析法	41
2-3-1 含线性电阻元件、电流源和受控电流源的电路	41
2-3-2 含电压源、受控电压源的电路	44
2-3-3 改进的节点分析法	46
2-4 回路分析法和网孔分析法	47
2-4-1 含线性电阻元件、电压源、受控电压源的电路	48
2-4-2 含电流源、受控电流源的电路	50
2-5 电路的等效替换	52
2-6 两种含源电路及其等效互换	54
2-7 星形电阻电路与三角形电阻电路的等效互换	57
2-8 线性电路的性质、叠加定理	59
2-8-1 线性电路的齐次性	59
2-8-2 叠加定理	61
2-9 替代定理	65
2-10 戴维宁定理和诺顿定理	67
2-10-1 二端电阻网络的等效电阻	67
2-10-2 戴维宁定理	69
2-10-3 诺顿定理	72
习 题	77
第三章 正弦电流电路的分析	85
3-1 正弦电压和正弦电流	85
3-1-1 正弦电压(电流)的幅值、角频率和初相角	85
3-1-2 同频率正弦量之间的相位差	87
3-1-3 正弦电流和正弦电压的有效值、平均值	87
3-2 复数	88
3-3 相量法基础	90
3-3-1 用相量表示正弦量和相量图	90
3-3-2 同频率的正弦量的代数和	92
3-3-3 正弦量的微分	92
3-4 线性电路的正弦稳态响应	92
3-5 基尔霍夫定律的相量形式	95
3-6 电路元件电压电流关系的相量形式	97



3-6-1 电阻元件	97
3-6-2 电容元件	98
3-6-3 电感元件	99
3-6-4 受控源	100
3-7 阻抗与导纳	101
3-7-1 阻抗与导纳的定义	101
3-7-2 阻抗	102
3-7-3 导纳	104
3-7-4 阻抗与导纳	106
3-8 正弦电流电路中的功率	106
3-8-1 平均功率(有功功率)	108
3-8-2 视在功率	109
3-8-3 功率因数、功率因数角	109
3-8-4 无功功率	109
3-8-5 S 、 P 、 Q 之间的关系	110
3-8-6 用电路参数表示的 P 和 Q 的计算式	110
3-8-7 功率因数的提高	111
3-8-8 复功率	113
3-9 正弦电流电路的相量分析	114
3-9-1 串联的阻抗和并联的阻抗	114
3-9-2 用系统分析方法和电路定理分析正弦电流电路	117
3-9-3 用相量图分析正弦电流电路	119
3-10 正弦电流电路中的最大功率传输条件	121
习 题	122
第四章 含耦合电感的电路和三相电路	127
4-1 耦合电感元件	127
4-1-1 耦合电感元件的电压、电流关系	129
4-1-2 耦合系数	133
4-1-3 耦合电感元件储存的能量	133
4-1-4 正弦电流电路中的耦合电感元件	134
4-2 含有耦合电感的正弦电流电路的分析	134
4-2-1 空心变压器的等效电路、反映阻抗	136
4-2-2 串联的耦合电感和并联的耦合电感	138

4-2-3 去耦等效电路	139
4-3 理想变压器	141
4-3-1 理想变压器的电压、电流关系	142
4-3-2 理想变压器的阻抗变换作用	144
4-4 三相电路	144
4-4-1 对称三相电压	144
4-4-2 三相电源和三相负载的两种连接方式	145
4-5 对称三相电路的分析	148
4-5-1 $Y-Y$ 连接的对称三相电路	148
4-5-2 $Y-\Delta$ 连接的对称三相电路	150
4-5-3 三相电路的功率	151
4-6 不对称三相电路	153
习 题	157
第五章 二端口网络	160
5-1 二端口网络及其方程	160
5-2 短路导纳参数和开路阻抗参数	162
5-2-1 Y 参数和用 Y 参数表示的二端口网络方程	162
5-2-2 Z 参数和用 Z 参数表示的二端口网络方程	165
5-3 混合参数和传输参数	167
5-3-1 H 参数和用 H 参数表示的二端口网络方程	167
5-3-2 T 参数和用 T 参数表示的二端口网络方程	168
5-4 二端口网络的不同参数的相互转换	168
5-5 二端口网络的等效电路	171
5-6 二端口网络的连接	173
5-6-1 二端口网络的级联	173
5-6-2 二端口网络的并联	175
5-6-3 二端口网络的串联	175
5-6-4 二端口网络的串并联、并串联	176
5-7 有端接的二端口网络的分析	177
5-7-1 输入阻抗	177
5-7-2 输出阻抗	179
5-7-3 转移电压比、转移电流比	179
5-8 回转器和负阻抗变换器	181



5-8-1 回转器	181
5-8-2 负阻抗变换器	182
习 题	183
第六章 电路的频率特性	187
6-1 网络函数	187
6-2 电路的选频性质	189
6-2-1 一阶 RC 低通电路	189
6-2-2 一阶 RC 高通电路	190
6-2-3 截止频率与通频带	191
6-2-4 RLC 带通电路	192
6-3 电路中的谐振现象	193
6-3-1 串联谐振	194
6-3-2 并联谐振	197
6-4 非正弦周期电压、非正弦周期电流	199
6-5 线性电路在周期性激励下的稳态响应	200
6-6 非正弦周期电流(电压)的有效值、非正弦周期电流电路的平均功率	203
6-6-1 周期电流(电压)的有效值	203
6-6-2 非正弦周期电流电路的平均功率	204
习 题	207
第七章 线性动态电路的时域分析	209
7-1 动态电路的过渡过程	209
7-2 单位阶跃函数和单位冲激函数	211
7-2-1 单位阶跃函数	211
7-2-2 单位冲激函数	212
7-2-3 单位阶跃函数与单位冲激函数	213
7-3 输入—输出方程的建立和方程初始条件的确定	216
7-3-1 电路输入—输出方程的建立	216
7-3-2 电路方程初始条件的确定	217
7-4 动态电路的响应的分类	220
7-5 一阶电路的零输入响应	223
7-5-1 RC 电路的零输入响应	223
7-5-2 RL 电路的零输入响应	226
7-6 一阶电路的零状态响应	229

7-7 一阶电路的全响应	235
7-8 电容电压、电感电流不连续的一阶电路	236
7-9 一阶电路的冲激响应	240
7-10 二阶电路的零输入响应	243
7-11 二阶电路的零状态响应和全响应	251
7-11-1 二阶电路的零状态响应	251
7-11-2 二阶电路的全响应	252
习 题	253
第八章 线性动态电路的复频域分析	259
8-1 拉普拉斯变换和拉普拉斯反变换	259
8-1-1 拉普拉斯变换和拉普拉斯反变换	259
8-1-2 拉普拉斯变换的基本性质	260
8-1-3 拉普拉斯反变换的部分分式展开法	261
8-2 基尔霍夫定律的复频域形式	266
8-3 电路元件的复频域模型、复频域阻抗和复频域导纳	266
8-3-1 电阻元件的复频域模型	266
8-3-2 电容元件的复频域模型	267
8-3-3 电感元件的复频域模型	268
8-3-4 耦合电感元件的复频域模型	269
8-3-5 受控源的复频域模型	269
8-4 线性动态电路的复频域分析法	269
8-5 网络函数	276
习 题	278
习题答案	280
索 引	290
参考书目	296

绪论

人类的活动已经无法离开电。可以毫不夸张地说,在当今世界,如果没有电,人类的社会生活是无法想象的。电是一种使用非常方便的能量,为了实现电能传输、分配的延绵数百千米的电力线路,为了利用电能而设计、制造的各种电气装置及设备无处不见。电又是一种信息的载体,实现信息获取、信息处理的电子系统,由电子器件、电气部件等构成的各种自动控制系统,已经深入到人类活动的各个领域。

大到延绵数百千米的输电线路,小到由电子元器件组成的电子线路以及在半导体材料上制造的各种集成电路等,都是实际的电路。这些实际电路是由各种电子器件、电气部件相互连接而成的,具有某种特定功能。实际电路尽管形式多样、功能各异,但它们的工作情况总是用电路中的电流、电压、电荷量、磁通量以及功率、能量等物理量来描述,都遵循一些共同的规律,这种共同的规律正是电路理论所要研究的内容。

电路理论以分析电路中的电磁现象,研究电路的基本规律以及电路的分析与设计方法为主要内容。电路理论所涉及的内容曾经是物理学中电磁学的一个分支,由于电力工程、电子工程、通信工程、控制工程及系统理论的迅速发展,促进了电路理论的不断完善和丰富,至 20 世纪 30 年代发展成为一门独立的学科。

20 世纪以来,电力网络的复杂性的增加使得电力网络的分析、潮流计算等需要用电路理论的观点来研究与电路理论紧密地结合,电路理论所提供的电路分析方法是电力系统分析的坚实基础。电子工程、通信工程、控制工程的发展,技术的更新更是日新月异,在电子电路分析、电路频率特性的研究、集成电路设计中,电路理论所给出的诸如直流电路分析、交流电路分析、动态电路

分析等手段成为电路分析和设计的有力支撑。与此同时,新型电子器件的不断出现使得电路理论中的电路元件的种类不断地丰富。系统理论的概括性和抽象方法对电路理论的渗透也给电路理论注入了新的内容。计算机科学的发展及计算机技术的广泛应用为大规模电路的分析提供了强有力的工具,促进了电路理论的发展和内容的更新。

作为基础理论学科的电路理论与诸多工程学科有着紧密的联系,并相互融合。工程学科的成就丰富了电路理论的内容,电路理论的发展及其所取得的成果又促进了电力工程、电子工程、通信工程等领域相关技术的不断进步。电路理论是电工学科与电子科学的重要基础理论之一,是电子工程师、电气工程师必备的基础理论知识。有鉴于此,电路课程成为电子科学与技术、通信工程、电子信息工程、计算机科学与技术、电气工程及其自动化、自动化、生物医学工程等电气信息类专业的必修课,也是电类专业学生学习后续的“信号与系统”“模拟电子技术”“自动控制理论”等课程的基础。

在电路理论中,电路分析与电路综合是两个主要的部分。电路分析问题一般是已经确定了电路的结构和各元件的参数,要求分析和确定电路的特性。电路综合问题正好相反,要求设计者根据所提出的性能指标要求,设计出电路并使其性能指标能达到规定的要求。分析是设计的基础,设计出的电路也需要通过分析来检验是否符合要求,电路分析是电路综合的基础。

数学知识是学习电路理论必不可少的工具,微积分、微分方程、线性代数、傅立叶级数、复数等相关知识是学习本课程所必备的。同时,具备物理学中的电磁学的基础知识对于学习本课程也是十分有益的。



电路模型和电路定律

本章介绍建立实际电路模型的若干理想元件,包括电阻元件、电容元件、电感元件、独立源、受控源。基尔霍夫定律描述了电路中的各元件电流之间的约束关系、各元件电压之间的约束关系。

1-1 电路和电路模型

在有电流通过的实际电路中,总伴随着电场能、磁场能、热能、机械能等能量的相互转换。为了模拟实际电路中所发生的电磁现象,在电路理论中引入了各种抽象的理想元件。一种理想元件近似地描述实际器件或电路的某一种物理性质,每一种理想元件的特性都有精确的定义和数学描述,用这些理想元件作为基本的构造单元构成实际电路的模型。由理想元件相互连接而成的,作为实际电路的模型电路即电路理论中所指的电路。在电路理论中,电路又称为电网络,简称网络。

在多数情况下,实际电路中所发生的电磁现象是复杂的,要想精准地描述这些电磁现象是困难的。在电磁学中导出了电路的三种参数:电阻、电容、电感。理论和实验研究的结果表明,当电路部件及电路的尺寸远小于工作的电磁信号的波长时,电路参数的分布性对电路性能的影响不那么明显,可以不考虑电路的空间尺寸而用集总的电阻、电容、电感作为电路的参数。有相当部分的实际电路都满足这样的条件,因而在上述集总假设的条件下,可以定义若干种理想的集总参数元件来构造这类电路的模型。一种理想的集总参数元件只描述一种电磁现象。由理想的集总参数元件相互连接而成的电路称为集总参数电路。在集总假设的前提条件下,电路中的电压和电流是时间的函数,而与空间坐标无关。就具有二个引出端子的二端集总参数元件而言,在任一时刻从一个端子流入的电流恒等于从另一个端子流出的电流,元件中的电流和两个端子之间的电压都具有完

全确定的值,仅为时间的单值函数。当实际电路部件及电路尺寸可以与工作的电磁信号的波长相比较(一般认为当电路的最大尺寸大于等于 100 倍电磁信号波长)时,则不能作为集总参数电路处理,而应当作为分布参数电路。本书只涉及集总参数电路,全部内容是在集总假设前提下论及的,所指的电路是由集总参数元件相互连接而成的集总参数电路,所指的电路元件是理想的集总参数元件。

为了建立实际器件和电路的模型,除了需要定义(集总)电阻元件、(集总)电容元件、(集总)电感元件以外,在电路理论中还定义了如电压源、电流源、受控源、耦合电感元件等理想元件。按照与外部连接的端子的数目,元件可分为二端、三端、四端元件等。每种元件都规定了相应的图形符号,用规定的图形符号和理想的连接导线可绘制电路图。部分电路元件的图形符号见表 1-1-1。

表 1-1-1 部分电路元件的图形符号

元件名称	元件的图形符号	元件名称	元件的图形符号
线性电阻元件		非线性电阻元件	
电压源		电流源	
线性电容元件		线性电感元件	
电压控电流源		耦合电感元件	

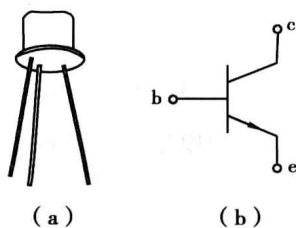


图 1-1-1 晶体管外型及符号

以电子线路中的典型器件之一的 NPN 型晶体三极管为例,它的外型和在电子电路中所使用的图形符号如图 1-1-1(a)、(b) 所示。根据电子学的研究结果,工作在放大区,在输入信号频率不高、幅度较小的条件下,用规定的理想元件的符号画出的晶体管电路模型如图 1-1-2(a) 所示。在高频情况下,计及极间电容的电路模型如图 1-1-2(b) 所示。在分析含有

NPN 型晶体管的电路时,需根据其实际的工作情况,分别选用图 1-1-2(a)或图 1-1-2(b)的电路模型,按电路理论所提供的方法分析相应的电路。构造实际器件的电路模型属于专门的建模问题,需要专门的知识,将由专门的专题去研究。

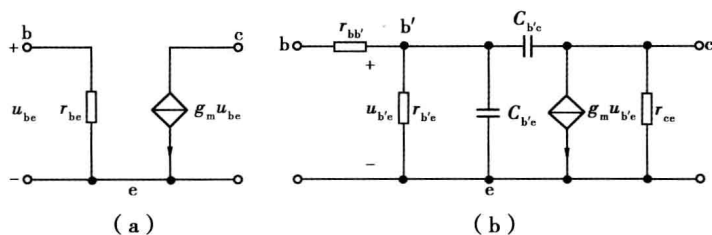


图 1-1-2 晶体管的电路模型

仅以简单的手电筒照明电路为例,图 1-1-3(a)的电气图表示了电池、开关、灯三个部件的连接关系。图 1-1-3(b)是手电筒照明电路的集总参数电路模型,用以模拟该照明电路中发生的电磁现象。电压源 u_s 和电阻元件 R_s 是电池的电路模型, u_s 是电压源,模拟作为电源的电池, R_s 模拟电池的内阻,电阻元件 R_L 模拟灯的电阻特性,反映电能转换为热能的现象,连接导线和开关 S 是理想的,导线和闭合(接通电路)的开关的电阻为零。

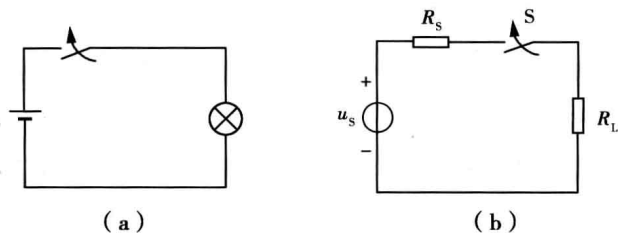


图 1-1-3 电气图与电路图

1-2 电路变量

电流、电压、电荷、磁通是电路中的基本变量。在本书中,时间的符号是 t , 电流的符号是 i , 电压的符号是 u , 电荷[量]的符号是 Q , 磁通[量]的符号是 ψ 。当电流、电压为常量时,称为直流电流、直流电压,可分别用符号 I 、 U 表示。在国际单位制的 SI 基本单位中,时间的单位名称是秒,单位符号是 s;电流的单位名称是安[培],单位符号是 A。在 SI 导出单位中,电荷[量]的单位名称是库[仑],单位符号是 C;电压的单位名称是伏[特],单位符号是 V;磁通[量]的单位名称是韦[伯],单位符号是 Wb。

1-2-1 电流及其参考方向

大量的电荷作定向运动形成电流。为了表示电流的大小,在物理学中是这样规定电

流的:如果在 dt 时间内通过导体某一截面的电荷为 dq ,则通过这一截面的电流为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

基于历史的原因,将正电荷流动的方向规定为电流的方向。

如果电流的方向是随时间改变的,那么如何表示电流的实际方向呢?即使电流的方向不随时间变化,当求解的电路较复杂时,往往也很难事先判断其电流的实际方向。为此,我们采用经典力学中引入一个参照系用以描述物体的空间位置的方法,在电路分析中引入了参考方向的概念。

用方框和与之相连接的两条端线表示一个二端元件如图 1-2-1 所示, a 、 b 是元件的两个端子。在端线上标以从 a 端子向 b 端子方向的箭头并在箭头旁标注 i (如图 1-2-1 所示),即表示指定的二端元件中的电流的参考方向是从 a 端子向 b 端子。

在指定了电流的参考方向以后,用代数量表示的电流的正、负有着明确的意义:正值的电流,其实际方向与参考方向一致;负值的电流,其实际方向与参考方向相反。以图 1-2-2 所示的二端元件为例,如果该元件中的电流为 2 A ,其实际方向是从 a 端子流向 b 端子,图 1-2-2(a) 中,电流的参考方向是从 a 端子向 b 端子,电流 $i = 2\text{ A}$ 表示元件中的电流大小是 2 A ,实际方向与参考方向相同,是从 a 端子流向 b 端子;图 1-2-2(b) 中,电流的参考方向是从 b 端子向 a 端子,电流 $i = -2\text{ A}$ 表示元件中的电流大小为 2 A ,负值表明电流的实际方向与参考方向相反,即电流的实际方向是从 a 端子流向 b 端子。由此可见,用代数量表示的电流,根据所指定的参考方向,视其是正值还是负值即可确定该电流的实际方向。

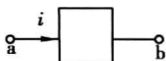


图 1-2-1 二端元件电流 i 的参考方向

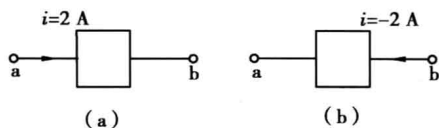


图 1-2-2 元件中的电流的表示方法

还可使用双下标的方法表示参考方向。对图 1-2-2(a) 所示的元件电流还可表示为 $i_{ab} = 2\text{ A}$, 双下标中, a 在前, b 在后即表示电流的参考方向是由 a 端子指向 b 端子;同理,对图 1-2-2(b), 元件电流可表示为 $i_{ba} = -2\text{ A}$ 。显然,如果一个二端元件的两个端子为 a 和 b ,在表示该元件中的电流时,应有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

1-2-2 电压及其参考方向

在电磁学中,引入了电位能的概念,电荷在电场中一定的位置处具有一定的位能。电场中某点的电位在量值上等于放在该点处的单位正电荷的位能。电场中任意两点 a