

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

电路分析基础 (第4版)

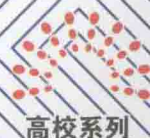
刘陈周井泉 沈元隆 于舒娟 编著

普通高等教育“十一五”
国家级规划教材



Basis of Circuit Analysis (4th Edition)

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



高校系列



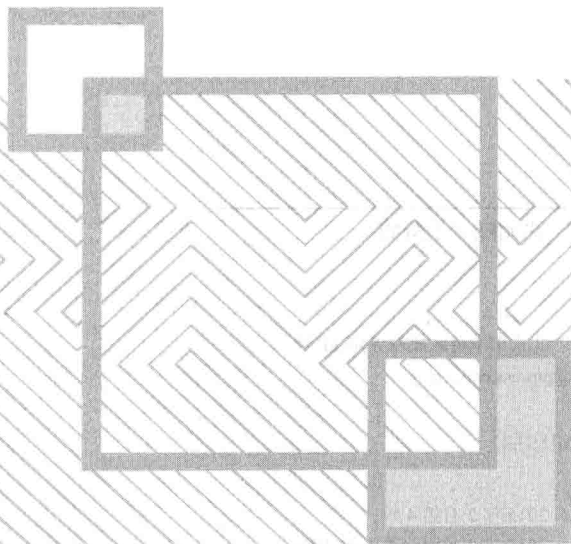
普通高等教育“十一五”
国家级规划教材

刘陈周井泉 沈元隆 于舒娟 编著

电路分析基础 (第4版)

纪高等院校信息与通信工程规划教材
Ji University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

Basis of Circuit Analysis (4th Edition)



人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

电路分析基础 / 刘陈等编著. -- 4版. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2015. 2
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-38285-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①电路分析—高等学校—
教材 IV. ①TM133

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第019383号

内 容 提 要

本书系统讲述电路理论中的基本概念、基本定理和基本分析方法。全书共 12 章, 内容包括电路分析的基本概念、电路分析中的等效变换、线性网络的一般分析方法、网络定理、非线性电阻电路分析、电路暂态过程的时域分析、正弦激励下电路的稳态分析、耦合电感和变压器电路分析、电路的频率特性、大规模线性网络的分析、二端口网络以及电路的复频域分析。各章均配有与基本内容密切相关的例题和习题, 书后附有部分习题答案。

本书可作为通信、电子、计算机和自动化等专业本科学生的教材, 也可供有关科技人员学习参考。

-
- ◆ 编 著 刘 陈 周井泉 沈元隆 于舒娟
责任编辑 武恩玉
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市中晟雅豪印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.75 2015 年 2 月第 4 版
字数: 598 千字 2015 年 2 月河北第 1 次印刷
-

定价: 56.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

电路的概念出现在范围广泛的多个领域,电路分析的思想在一系列科学技术领域也发挥着重要的作用。电路分析课程是一门重要的工程基础理论课程,也是电气电子信息类专业大学教育阶段必修课程中最基础、最引人入胜、最有用的一门课程。

由南京邮电大学刘陈教授带领的电路分析教学团队在大量科研积累和教学实践的基础上,对12年来已发行3版的《电路分析》教材重新总结梳理,推出能够反映国内外教材发展最新技术与教学趋势,体现“基础性、系统性、先进性、可行性”的第4版工程应用型教材。本书的出版,势必解决当今普通高校该课程建设的当务之急。

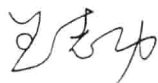
改版后的教材具有以下特色。

(1)沿用2003年1月初版的经典体系,内容体现科学性,反映学科发展前沿,突出实践性和应用性,并在文字上进行了润色、提炼。

(2)概念深入浅出,理论结合实践。全书以电路理论的经典内容为核心,注重基本概念的讲解、解题技能的训练以及对大学生工程设计与实践能力的培养,并力争在传统的电路理论知识中融入大量的新知识和新技术。

(3)注重启发引导,鼓励创新思考。为了鼓励学生思考学习内容,提高创新能力,本书提供了结合工程实际问题的习题,并提供了习题参考答案,非常有利于师生的教与学。

正是以上特点,使得本书深受广大读者的欢迎。那么,我们希望本书的出版,能够为国内高等学校“电路分析”课程的改革和发展起到积极的促进作用,为培养符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新人才做出新的贡献。



2015年元月于南京

根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会 2010 年制定的“电路分析基础”课程教学基本要求,结合多年的教学实践体会和广大读者的反馈意见,我们对第 3 版进行了较全面的修订。

本版基本保留了第 3 版的体系和结构,继承了各章中心明确、层次清楚、概念准确、便于教学的特点。同时,进一步凝练内容,使论述更加简明,对部分章节做了调整和增删,主要有:

(1) 将“一阶电路分析”和“二阶电路分析”两章合并成第 6 章,即“电路暂态过程的时域分析”,删去了“一阶电路的特殊情况分析”等知识,增编了“冲激响应和卷积积分”等内容。

(2) 删除了“第 13 章磁路和铁芯线圈”,以及第 7 章中的“LC 滤波器”等内容,增编了“电路的复频域分析”一章。

(3) 突出了对基本概念的论述。例如,单独编列了“等效二端网络的概念”“最大功率传输定理”等章节,改进了一些内容的叙述方法。

(4) 适当调整了章节的次序。按从时域分析到变换域(包括相量域和复频域)分析的次序,将“非线性电阻电路分析”提前。

本书由刘陈主编和统稿,在沈元隆、刘陈编著的第 3 版的基础上,周井泉和于舒娟参与了部分章节的改编。本书的改编得到了南京邮电大学各级领导的关心和支持,从事多年“电路分析基础”课程教学的老师给我们提出了很多建设性的意见。在此,一并表示衷心的感谢。

本书承蒙教育部电工电子基础课程教学指导委员会主任委员、东南大学王志功教授精心审阅并作序,谨致以诚挚的谢意。

限于编者水平,书中难免存在疏漏和差错,恳请各位老师和同学指正。

编者
2015 年 1 月

编者的话 (第3版)

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。它是在第2版的基础上,依据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会的“电路分析基础教学基本要求”,结合学校各专业对本书的要求和编者多年的教学实践,同时也兼顾到广大读者的反馈意见而进行修订的。

本书基本保持了第2版(修订版)的框架结构,在进一步凝练内容的基础上,在每章的结尾增加了对该章内容的归纳和小结,便于读者更好地领会和掌握该章的重点和难点,从而进一步激发学习的积极性和主动性。

本书在整个修订过程中,始终得到了南京邮电大学各级领导的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在不妥和错误,恳请读者批评指正。

编者

2007年11月

编者的话 (第2版)

随着高校办学规模的扩大和专业的增加,教材的内容也需要做相应的调整。为了使《电路分析基础》教材在适合通信、信息类专业教学的同时,也能很好地适应如电力、电气类各强电专业的需要,在听取了教学指导委员会和相关专业教师的意见后,经过反复斟酌,教材内容做了部分增补和调整。

本次修订在保留原版本体系的基础上,在第7章增加了复功率守恒、单相功率测量、不对称三相电路分析及三相电路功率测量等内容,并增加了第13章磁路和铁芯线圈的内容。上述增补的内容全部由沈元隆教授编写。考虑到与后续课程“电磁场理论”的衔接,未增加关于均匀传输线方面的内容。

在整个修改过程中,始终得到了南京邮电学院各级领导和电路与系统教研室全体教师的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者
2004年3月

编者的话 (第1版)

“电路分析”是高等工科院校电气信息类各专业本科生的一门重要专业基础课程。其内容是介绍非时变集总参数电路的基本理论和方法。通过本书的学习,学生能够掌握电路分析的基本概念和基本原理,培养电路分析与计算能力,为后续课程的学习奠定基础。

本书根据高等院校电子信息类专业基础课教学指导委员会的“电路分析教学基本要求”编写而成。在内容选材上立足于“加强基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的原则,并注意了与“高等数学”“大学物理”等先修课程及“信号与线性系统”“模拟电子电路”等后续课程的分工、衔接和配合,做到对先修课程巩固加深和为后续课程打好基础;在文字叙述上,力求突出重点、分散难点、由浅入深。同时,本书还精心选编了大量例题和习题,并配备了习题参考答案,使之与正文有机结合,融为一体,便于更好地掌握基本内容,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书是在南京邮电学院电子工程系电路与系统教研室全体教师 20 余年教学经验积累的基础上编写而成的。全书由沈元隆教授和刘陈教授合作编写,其中沈元隆教授编写了第 1 章,第 2 章,第 5 章,第 6 章,第 9 章,第 12 章和第 8 章 8.4~8.6 节,刘陈教授编写了第 3 章,第 4 章,第 7 章,第 10 章,第 11 章和第 8 章 8.1~8.3 节;全书由沈元隆统稿。

在本书的编写过程中,始终得到南京邮电学院各级领导和电路与系统教研室全体教师的热情鼓励和大力支持,其中梅杓春教授、王锁萍教授和蒋国平博士对本书的出版给予了极大关心和帮助;我国电路与系统领域德高望重的前辈、中国科学院北京研究生院左垵教授详细审阅了本书的全部原稿,并提出了许多宝贵的意见。在此对他们表示衷心的感谢。

限于编者水平和时间,书中不乏错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

最后,谨将此书献给曾经和正在为电路教学而辛勤工作的所有教师。

编者
2001 年 6 月

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对人民邮电出版社的支持，您的信赖是我们进步的不竭动力。在使用本书的过程中，如果您有好的意见和建议，或者遇到了什么问题，我们真诚地希望您能抽出一点宝贵的时间，反馈给我们。打造高品质的教材是我们的不懈追求，您的意见是我们最宝贵的财富。

地址：北京市丰台区成寿寺路 11 号邮电出版大厦 305 室

邮编：100164 电子邮件：wuenyu@ptpress.com.cn

电话：010-81055213

教材名称：电路分析基础（第 4 版）

ISBN：978-7-115-38285-6

个人资料

姓名：_____ 年 龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：指定教材 选用教材 辅导教材 自学教材

您对本书封面设计的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议

您对本书印刷质量的满意度：

很满意 满意 一般 不满意 改进建议

您对本书的总体满意度：

从语言角度 很满意 满意 一般 不满意 改进建议

从知识角度 很满意 满意 一般 不满意 改进建议

本书最令您满意的是：

逻辑清晰 内容充实 讲解详尽 实例丰富

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

教学资源支持

敬爱的老师：

为了配合课程的教学需要，助力教学活动的开展，人民邮电出版社致力于立体化教学资源的开发建设，老师可以登录人民邮电出版社教学服务与资源网（www.ptpedu.com.cn）查询并免费下载与本教材配套的教学资源，也可以与编辑联系（武恩玉，010-81055213，wuenyu@ptpress.com.cn）了解资源情况。

目 录

第 1 章 电路分析的基本概念	1
1.1 实际电路和电路模型	1
1.2 电路分析的变量	2
1.2.1 电流及其参考方向	3
1.2.2 电压及其参考方向	3
1.2.3 关联参考方向	4
1.2.4 功率和能量	4
1.3 电路元件	6
1.3.1 电阻元件	6
1.3.2 独立电源	9
1.3.3 受控电源	11
1.4 基尔霍夫定律	14
1.4.1 基尔霍夫电流定律	15
1.4.2 基尔霍夫电压定律	16
1.5 单回路及单节偶电路	18
小结	19
习题	20
第 2 章 电路分析中的等效变换	23
2.1 等效二端网络的概念	23
2.2 无源二端电阻网络的等效变换	25
2.2.1 电阻串联	25
2.2.2 电阻并联	26
2.2.3 电阻的混联	27
2.3 电阻星形连接与三角形连接的等效变换	29
2.4 含独立电源网络的等效变换	32
2.5 实际电源的两种模型及其等效变换	36
2.5.1 实际电源的戴维南电路模型	36
2.5.2 实际电源的诺顿电路模型	37
2.5.3 两种实际电源模型的等效变换	38
2.6 含受控电源电路的等效变换	40
2.7 运算放大器	43
2.7.1 运算放大器的线性模型	43
2.7.2 含运算放大器电路的分析	44
小结	47
习题	48
第 3 章 线性网络的一般分析方法	56
3.1 支路分析法	56
3.2 网孔分析法	59
3.2.1 网孔电流和网孔方程	60
3.2.2 含有电流源网络的网孔方程	62
3.2.3 含受控源网络的网孔方程	63
3.3 节点分析法	63
3.3.1 节点电压和节点方程	63
3.3.2 含有电压源网络的节点方程	65
3.3.3 含受控源网络的节点方程	67
3.4 独立电路变量的选择与独立方程的存在性	67
3.4.1 网络图论的基本概念	67
3.4.2 独立变量与独立方程	70
3.5 回路分析法	70
3.6 割集分析法	72
3.7 电路的对偶特性与对偶电路	75
3.7.1 电路的对偶特性	75
3.7.2 对偶电路	76
小结	78
习题	80
第 4 章 网络定理	84
4.1 叠加定理	84

4.2 替代定理	87	公式	147
4.3 戴维南定理和诺顿定理	89	6.5 一阶电路的全响应	148
4.3.1 戴维南定理	89	6.6 一阶电路的三要素法	149
4.3.2 诺顿定理	90	6.7 一阶电路的阶跃响应	154
4.4 最大功率传输定理	94	6.7.1 阶跃函数	154
4.5 特勒根定理	97	6.7.2 阶跃响应	155
4.6 互易定理	100	6.8 一阶电路的冲激响应和 卷积积分	158
小结	103	6.8.1 单位冲激函数	158
习题	105	6.8.2 冲激响应	160
第5章 非线性电阻电路分析	110	6.8.3 卷积积分	162
5.1 解析分析法	110	6.9 二阶电路分析	164
5.2 图解分析法	113	6.9.1 RLC 串联电路的零 输入响应	164
5.2.1 负载线法	113	6.9.2 RLC 串联电路在恒定激励 下的零状态响应和 全响应	171
5.2.2 非线性电阻的串联、并联和 混联	114	6.9.3 GCL 并联电路分析	175
5.2.3 双负载线法	115	小结	177
5.3 分段线性化法	116	习题	180
5.3.1 有条件线性化法	116	第7章 正弦激励下电路的稳态 分析	189
5.3.2 分段线性化法	116	7.1 正弦量	190
5.4 小信号分析法	118	7.1.1 正弦量的三要素	190
小结	121	7.1.2 正弦量间的相位差	191
习题	122	7.1.3 正弦量的有效值	193
第6章 电路暂态过程的时域分析	125	7.2 正弦量的相量表示法	194
6.1 电容元件和电感元件	125	7.2.1 复数及其运算	194
6.1.1 电容元件	125	7.2.2 相量表示法	196
6.1.2 电感元件	130	7.3 正弦稳态电路的相量模型	198
6.1.3 电容器和电感器的模型	133	7.3.1 基尔霍夫定律的 相量形式	199
6.2 换路定则及初始值计算	134	7.3.2 电路元件伏安关系的 相量形式	200
6.3 一阶电路的零输入响应	137	7.4 阻抗与导纳	204
6.3.1 RC 电路的零输入响应	138	7.5 正弦稳态电路的相量分析法	211
6.3.2 RL 电路的零输入响应	141	7.6 正弦稳态电路的功率	215
6.3.3 一阶电路零输入响应的 一般公式	143	7.6.1 二端网络的功率	215
6.4 一阶电路的零状态响应	144	7.6.2 最大功率传输	220
6.4.1 RC 电路的零状态响应	144		
6.4.2 RL 电路的零状态响应	146		
6.4.3 一阶电路电容电压、电感 电流零状态响应的一般			

7.7 三相电路	222	9.2.2 RC 高通网络	282
7.7.1 三相电路的基本概念	222	9.2.3 RC 带通、带阻和全通网络	283
7.7.2 对称三相电路的分析	225	9.2.4 RC 有源网络频率特性举例	284
7.7.3 不对称三相电路概念	228	9.3 RLC 串联谐振	285
7.7.4 三相电路的功率测量	232	9.3.1 RLC 串联谐振条件与谐振特性	286
7.8 非正弦周期电路的稳态分析	234	9.3.2 RLC 串联谐振电路的频率特性	289
7.8.1 周期信号的分解与非正弦周期电路的稳态分析	234	9.3.3 RLC 串联谐振电路的电压传输系数	292
7.8.2 周期信号的有效值和功率	237	9.4 GCL 并联谐振	293
小结	239	9.4.1 GCL 并联谐振电路	294
习题	242	9.4.2 实际并联谐振电路	296
第 8 章 耦合电感和变压器		9.5 电源内阻及负载对谐振电路的影响	299
电路分析	248	9.5.1 加载回路	299
8.1 耦合电感	248	9.5.2 减小加载影响的方法	300
8.1.1 耦合电感的伏安关系	248	9.5.3 同时变换电源和负载举例	305
8.1.2 耦合线圈的同名端	250	*9.6 改善谐振特性的方法	308
8.1.3 耦合电感的储能	252	9.6.1 耦合振荡回路	308
8.2 耦合电感的去耦等效	253	9.6.2 参差调谐电路	316
8.2.1 耦合电感的串联	253	小结	317
8.2.2 耦合电感的并联	254	习题	320
8.2.3 耦合电感的三端连接	255	*第 10 章 大规模线性网络的分析	324
8.3 空芯变压器	257	10.1 关联矩阵	324
8.4 理想变压器和全耦合变压器	260	10.2 基本回路矩阵	325
8.4.1 理想变压器的伏安关系	260	10.3 基本割集矩阵	326
8.4.2 全耦合变压器的电路模型	263	10.4 矩阵 A 、 B 和 Q_f 之间的关系	327
8.5 含理想变压器电路的分析	264	10.5 大规模线性网络的分析方法	328
8.5.1 理想变压器的阻抗变换	264	10.5.1 节点分析法	328
8.5.2 含理想变压器电路的一般分析方法	270	10.5.2 回路分析法	331
8.6 一般变压器的电路模型	270	10.5.3 割集分析法	332
小结	272	小结	333
习题	275	习题	334
第 9 章 电路的频率特性	279		
9.1 网络函数和频率特性	279		
9.2 RC 电路的频率特性	281		
9.2.1 RC 低通网络	281		

第 11 章 二端口网络	335	12.1.1 拉普拉斯变换的定义	350
11.1 二端口网络	335	12.1.2 典型函数的拉普拉斯 变换	351
11.2 二端口网络的方程与参数	336	12.2 拉普拉斯变换的基本性质	352
11.2.1 Z 参数	336	12.3 拉普拉斯反变换的部分分式 展开	358
11.2.2 Y 参数	336	12.4 电路的复频域模型	363
11.2.3 H 参数	337	12.4.1 基尔霍夫定律的复频域 形式	363
11.2.4 A 参数	337	12.4.2 电路元件的复频域 模型	363
11.2.5 各种参数间的相互转换	338	12.5 电路的复频域分析	365
11.3 二端口网络的等效电路	340	12.6 网络函数	368
11.4 二端口网络的特性阻抗	342	小结	370
11.5 二端口网络的连接	344	习题	372
11.6 阻抗变换器	346	部分习题参考答案	375
小结	347	参考文献	381
习题	347		
第 12 章 电路的复频域分析	350		
12.1 拉普拉斯变换	350		

电路理论包括电路分析和电路综合两大方面的内容。电路分析的主要内容是指在给定电路结构、元件参数的条件下,求取由输入(激励)所产生的输出(响应);电路综合则主要研究在给定输入(激励)和输出(响应)(即电路传输特性)的条件下,寻求可实现的电路的结构和元件的参数。本书仅限于学习电路分析方面的内容,且重点讨论线性非时变电路的基本理论和分析方法。

本章主要介绍电路分析的基本变量、电路基本定律——基尔霍夫定律和一些理想的电路元件。

1.1 实际电路和电路模型

实际电路是由各种电器按一定的方式互相连接而构成的电流的通路。它的主要功能是实现电能或电信号的产生、传输、转换和处理。

在通信技术、自动控制、电力和计算机等各个技术领域中,人们根据不同的需要用各种不同的电路来实现各自的任务。例如,日常使用的收音机和电视机,能把接收到的微弱的无线电信号进行各种加工处理,变为人们能接收的声音和图像;又如,计算机可对输入的数据进行指定的计算、储存和控制等。总之,实际电路种类繁多、千差万别,电路的各部分及其周围空间伴随着各种电磁现象和能量交换,从而形成一个复杂的物理系统。

电路理论是一门电的公共基础性的工程学科,电路理论是建立在理想化模型基础上的。电路理论的对象并不是实际电路,而是它们的数学模型——电路模型。电路模型是实际电路在一定条件下的科学抽象和足够精确的数学描述。电路理论中所说的电路,是指由各种理想电路元件按一定方式连接组成的总体。

理想电路元件是用数学关系式严格定义的假想元件。每一种理想元件都可以表示实际器件所具有的一种主要电磁性能。理想元件的数学关系反映实际电路器件的基本物理规律。

图 1-1 所示为 3 种基本理想电路元件的图形符号。其中,理想电阻元件仅表征消耗电能并转变成非电能的特征,理想电容元件仅表征储存或释放电场能量的特征,理想电感元件仅表征储存或释放磁场能量的特征。它们分别是实际电路中电阻器、电容器和电感器在一定条件下的近似化、理想化。

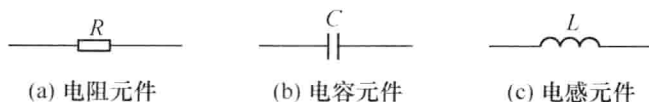


图 1-1 3种基本电路元件的图形符号

上述3种理想电路元件均具有两个端子,称为二端元件,又称单口元件。除二端元件外,还有多端元件,以后还要介绍四端元件,如受控源、耦合电感和变压器等。

由理想元件组成的电路称为电路模型。今后所提到的电路,除特别指明外,均为电路模型,所提到的元件均为理想元件。

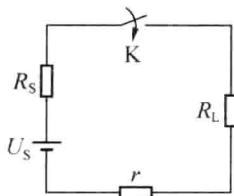
实际电路的模型化首先是实际器件的模型化。实际器件种类繁多,但其在电磁现象方面却有共同之处。任何一种实际器件,根据其不同的工作条件总可以用一个或几个理想元件的组合来近似表征它。用理想元件及其组合表征实际电路的每一个器件,可以得到该实际电路的电路模型。

应该指出,实际电路用电路模型来近似表示是有条件的。一种电路模型只有在一定条件下才是适用的,条件变了,电路模型也要作相应的改变。

理想元件是抽象的模型,没有体积和大小,其特性集中表现在空间的一个点上,称为集总参数元件。

由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路,简称集总电路。在集总电路中,任何时刻该电路任何地方的电流、电压都是与其空间位置无关的确定值。

本书只对集总参数电路进行分析,集总参数的条件即集总假设是电路分析的重要假设。当满足集总参数条件时,就可以采用由分立元件模型组成的集总参数电路模型。图1-2所示电路为一个手电筒电路的集总参数电路模型。图中电源元件 U_s 与电阻元件 R_s 的组合表示干电池,是提供电能的能源;电阻元件 r 表示手电筒金属壳体的电阻;电阻元件 R_L 表示灯泡,是用电设备,称为负载;图中连线为理想导线。

图 1-2 手电筒
电路模型

应该指出,用集总电路来近似代替实际电路是有条件的:电路器件及其整个实际电路的尺寸 l 应远小于电路最高工作频率所对应的波长 λ ,即

$$l \ll \lambda, \quad \lambda = c/f, \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光速)}$$

例如,我国电力系统照明用电的频率为50Hz,其波长为6000km。对于大多数用电设备来说,其尺寸与之相比可忽略不计,采用集总参数概念是合适的。而对远距离的通信线路和电力输电线路则不满足上述条件,就不能用集总参数来分析。又如,在微波电路中,信号的波长 $\lambda = 0.1 \sim 10 \text{ cm}$,此时波长与元件尺寸属同一数量级,信号在电路中的传输时间不能忽略;电路中的电流、电压不仅是时间的函数,也是空间位置的函数;某一时刻从电路或器件一端流入的电流不一定等于另一端流出的电流。此时集总参数模型失效,应当采用分布参数或电磁场理论来分析。有关这部分内容将在后续课程中学习。

1.2 电路分析的变量

电流、电压、电荷、磁链、功率和能量是描述电路工作状态和元件工作特性的6个变

量，一般都是时间的函数。其中电流和电压是电路分析中最常用的两个基本变量，本节着重讨论电流、电压的参考方向问题，以及如何用电流、电压表示电路功率和能量的问题。

1.2.1 电流及其参考方向

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用 i 表示，即

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

如果电流的大小和方向都不随时间改变，则这种电流称为恒定电流，简称直流，用 I 表示。在这种情况下，通过导体横截面的电荷量 q 与时间 t 成正比，即

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

在国际单位制 (SI) 中，电流、电荷和时间的单位分别为安 [培] (简称安，符号为 A)、库 [仑] (简称库，符号为 C) 和秒 (符号为 s)。1 安 = 1 库/秒。在通信和计算机技术中，常用毫安 (mA)、微安 (μA) 作为电流单位。它们的关系是

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

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

在电路分析中，电流的大小和方向是描述电流变量不可缺少的两个方面。但是对于一个给定的电路，要直接给出某一电路元件中的电流真实方向是十分困难的，如交流电路中电流的真实方向经常在改变。即使在直流电路中，要指出复杂电路中某一电路元件的电流真实方向也不是一件容易的事，为此，引入电流参考方向的概念。

图 1-3 所示为连接电路 a、b 两点间的二端元件，流经它的电流 i 的参考方向用箭头表示，电流的参考方向可以任意选定。但一经选定，就不再改变。如经过计算其电流值为正值，表示参考方向与电流真实方向一致；如电流值为负值，表示参考方向与真实方向相反。

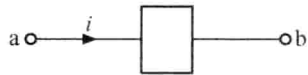


图 1-3 电流的参考方向

电流参考方向亦可用字符 i 的双下标表示。如对于图 1-3 来说，可用 i_{ab} 表示电流参考方向由 a 指向 b。

电流是代数量，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是没有意义的。所以在求解电路时，必须首先选定电流的参考方向。

今后，电路图中箭头所标电流方向都是电流的参考方向。电流的参考方向又叫电流的正方向。

1.2.2 电压及其参考方向

单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所做的功称为 a、b 两点间的电位差，即 a、b 间的电压，用 u 表示，即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

习惯上把电位降落的方向 (高电位指向低电位) 规定为电压的方向。通常电压的高电

位端标为“+”极, 低电位端标为“-”极。

如果电压的大小和方向都不随时间改变, 则这种电压称为恒定电压或直流电压, 用 U 表示。在这种情况下, 电场力做的功与电荷量成正比, 即

$$U = \frac{w}{q} \quad (1-4)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电压、能量 (功) 的单位分别为伏 [特] (符号为 V) 和焦 [耳] (符号为 J)。1 伏 = 1 焦/库。在通信和计算机技术中常用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 作为电压的单位, 它们的关系是

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

像需要为电流选定参考方向一样, 电压也需要选定参考方向 (也称参考极性)。在电路图上用“+”表示参考极性的高电位端, 用“-”表示参考极性的低电位端, 如图 1-4 (a) 所示。电压的参考极性同样是任意选定的。如经过计算, 电压值为正值, 表示电压的参考极性与真实极性一致; 如电压值为负值, 则表示电压的参考极性与真实极性相反。

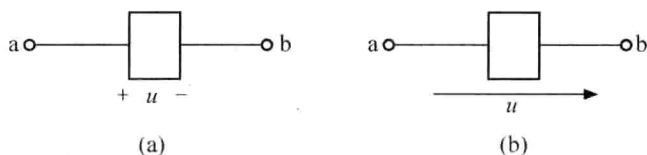


图 1-4 电压的参考方向

电压参考方向亦可用 u 的双下标表示, 如对于图 1-4 (a) 来说, 可用 u_{ab} 表示 a 点为参考正极性端“+”, b 点为参考负极性端“-”。当 $u > 0$ 时, 从 a 到 b 为电位降或电压降; 当 $u < 0$ 时, 从 a 到 b 为电位升或电压升。

有时也可用箭头表示电压的参考方向, 图 1-4 (b) 所示箭头的方向是电位降落的方向。

与电流参考方向类似, 不标注电压参考方向的情况下, 电压的正负是毫无意义的。所以在求解电路时, 也必须首先选定电压的参考方向。

1.2.3 关联参考方向

在电路分析中, 电流与电压的参考方向是任意选定的, 两者之间独立无关。但是为了方便起见, 对于同一元件或同一段电路, 习惯上采用“关联”参考方向。即电流的参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向选为一致, 如图 1-5 所示。关联参考方向又称为一致参考方向。

当电流、电压采用关联参考方向时, 电路图上只需标电流参考方向和电压参考极性中的任意一种即可。

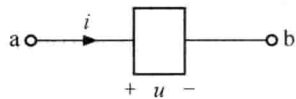


图 1-5 关联参考方向

1.2.4 功率和能量

电路的基本作用之一是实现能量的传输, 能量对时间的变化率称为功率, 用 p 表示, 即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-5)$$