

HZ BOOKS
华章教育



21世纪高等院校电子信息类本科规划教材

电路分析

劳五一 王淑仙 金传榆 编著



机械工业出版社
China Machine Press



21世纪高等院校电子信息类

电路分析

劳五一 王淑仙 金传榆 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析 / 劳五一, 王淑仙, 金传榆编著. —北京: 机械工业出版社, 2014. 3

(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-45241-6

I. 电… II. ①劳… ②王… ③金… III. 电路分析—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 309417 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书是高等院校电类专业的电路课程教材, 全书共 10 章, 主要内容有: 电路的基本概念与基本定律、电路的等效变换、电路的基本分析方法、电路定理、正弦稳态电路、耦合电感和理想变压器、三相电路、一阶电路和二阶电路、二端口网络和非线性电阻电路分析。

本书可作为高等院校电类专业本、专科生的电路教材, 也可作为相关教学研究人员和工程技术人员的电路参考书。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 谢晓芳

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·12.75 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-45241-6

定 价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

教学建议

本书所涉及的电路理论与其配套的《电路基础实验》构成一个完整的电路教学内容，旨在通过本课程的学习，使学生掌握电路的基本概念、基本规律、基本分析方法和定理，以及基本的实验原理、实验方法和实验技巧，为后续的专业课学习打下理论和实验的基础。

本书按内容大体分为三部分，即电路的稳态分析，包括直流电路的稳态分析和正弦交流电路的稳态分析、电路的动态分析和应用。根据不同学校的教学情况，我们对各章节给出了大致的学时安排。

教学内容	教学要点	课时安排	
		多学时	少学时
第 1 章 电路的基本概念与基本规律	<ul style="list-style-type: none"> • 集总电路的概念 • 电流和电压的参考方向 • 电功率和电能的计算 • 电阻、电容及电感元件的 VCR • 电压源和电流源的特性 • 受控源的四种类型 • 基尔霍夫定律 • 电路中的电位及其计算 	12	8
第 2 章 电路的等效变换	<ul style="list-style-type: none"> • 等效变换的概念 • 单口网络的 VCR • 单口网络的等效变换 • 电阻的 T 形网络和 Π 形网络的等效变换 	4	3
第 3 章 电路的基本分析方法	<ul style="list-style-type: none"> • 支路分析法 • 网孔分析法 • 节点分析法 	6	4
第 4 章 电路定理	<ul style="list-style-type: none"> • 齐次定理和叠加定理 • 置换定理 • 戴维南定理和诺顿定理 • 互易定理 • 特勒根定理 • 对偶原理 	12	10
第 5 章 正弦稳态电路	<ul style="list-style-type: none"> • 正弦量的基本概念 • 正弦量的相量表示 • 基尔霍夫定律和电路元件 VCR 的相量形式 • 正弦稳态电路的分析 • 正弦稳态电路的功率 • 谐振电路 	12	10
第 6 章 耦合电感和理想变压器	<ul style="list-style-type: none"> • 耦合电感的 VCR • 空心变压器的 VCR • 理想变压器的 VCR 	4	3
第 7 章 三相电路	<ul style="list-style-type: none"> • 对称三相电源 • 三相电路的分析 • 三相电路的功率 	4	3

(续)

教学内容	教学要点	课时安排	
		多学时	少学时
第 8 章 一阶电路和二阶电路	<ul style="list-style-type: none"> • 一阶电路的分析——三要素法 • 二阶电路的分析 	8	6
第 9 章 二端口网络	<ul style="list-style-type: none"> • 二端口网络的 VCR 及其等效电路 • 二端口网络各参数间的换算关系 • 二端口网络的连接 • 具有端接的二端口网络 	4	3
第 10 章 非线性电阻电路分析	<ul style="list-style-type: none"> • 含二极管的电阻电路 • 含晶体管的电阻电路 • 含运算放大器的电阻电路 	4	4
教学总学时		72, 其中机动 2 学时	54

下面就部分教学内容谈一下教学思考。

1) 电路的稳态分析是全书的重点内容，也是后续课程中应用较多的内容。因此，我们把直流电路的稳态分析和正弦交流电路的稳态分析集中在第 1~7 章中，而前者又是后者的基础。

第 1 章首先介绍了集总电路的概念及其条件，然后在引入电压、电流参考方向的基础上，重点讨论了电路的两类约束，其中元件约束分析了三种常用元件——电阻、电容和电感的 VCR，拓扑约束即为基尔霍夫定律。最后介绍了电子电路中常用的概念——电位。在这一章中，除了分析题外，还引入了电路设计例题。

在后续的章节中，均相对集中的介绍一类问题，比如第 2 章为电路的等效变换，第 3 章为电路的基本分析方法，第 4 章为电路定理等。这样有利于学生对知识的学习和把握。

2) 第 9 章“二端口网络”和第 10 章“非线性电阻电路分析”，是与后续课程模拟电子电路衔接的内容，前者为建立放大电路模型打下基础，后者介绍了模拟电路中常见非线性元件的外部特性及其电路分析，以有助于模拟电路的学习。

前 言

电路分析作为电类专业的一门重要的技术基础课，需要学习的知识点很多。如何在内容多，课时少的情况下，既要考虑到电路的基本概念、基本规律、基本分析方法和定理等内容的学习，又要兼顾后续课程的衔接，本教材的编写在这方面进行了尝试。全书分为电路的稳态分析、动态分析及应用三部分，其中，稳态分析包括直流电阻电路分析和正弦交流电路分析，前者是后者的基础，而稳态分析又是本课程的核心内容，包括第1~7章；动态分析为第8章，不仅需要学习动态分析的方法，而且要掌握一些结论性的知识点；最后两章是特意为后续课程知识的衔接而挑选的，第9章是模拟电路中建立放大电路模型所涉及的知识点，第10章选择了二极管电路、晶体管电路和运算放大器电路作为实例，介绍了利用非线性元件构建电路的基本思想和分析方法，为后续课程的学习奠定基础。

尽管本教材为“电路分析”，主要内容是在讲述如何分析一个给定的电路，但在实际问题中，我们需要的是如何能够设计一个电路，哪怕是最简单的一个电阻分压电路，而在后续课程中又没有相关内容的学习。鉴于此，本教材在部分章节中特意编写了电路设计的例题和习题，可使读者在这方面有所涉及，以便为以后的课程学习和实践打下基础。

本课程不应是一门纯理论课，还应该相应的实验相辅相成，我们编写的与之配套的实验教材《电路基础实验》，其主要特点是，将电路实验“弱电”化，以有助于专业基础实验的起步和提升，做到了“仪器使用与基本训练相结合，仿真实验与实际操作相结合，验证实验与设计实验相结合”。

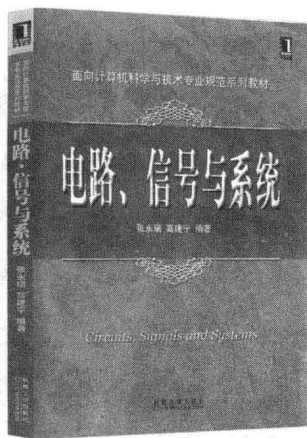
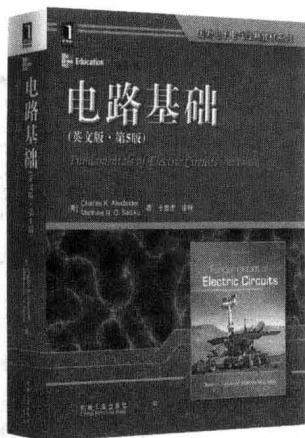
本书的特点是注重知识点的整合与衔接，注重仿真软件辅助理论分析，注重电路分析结合电路设计。

本书为华东师范大学专业核心课程建设项目，感谢华东师范大学教务处、信息学院和通信工程系的领导和有关老师对本书出版提供的支持。同时感谢机械工业出版社的大力支持和帮助。

由于作者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编者

推荐阅读



电路基础 (英文版·第5版)

作者: (美) Charles K. Alexander 等 于歆杰 注释 ISBN: 978-7-111-41184-0 定价: 129.00元
中文版 5/e 预计出版时间: 2013年8月

本书是一本电类各专业“电路”课程的经典教材,被美国众多名校采用,是美国最有影响力的“电路”课程教材之一。本书每章开始增加了中文“导读”,适合用做高校“电路”课程双语授课或英文授课的教材。本书前4版获得了极大的成功,第5版以更清晰、更容易理解的方式阐述了电路的基础知识和电路分析方法,并反映了电路领域的最新技术进展。全书总共包括2447道例题和各类习题,并在书后给出了部分习题答案。

电路、信号与系统

作者: 张永瑞 高建宁 ISBN: 978-7-111-28824-4 定价: 35.00元

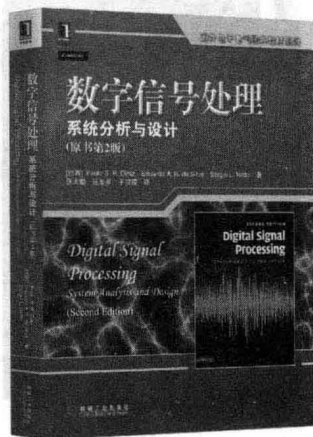
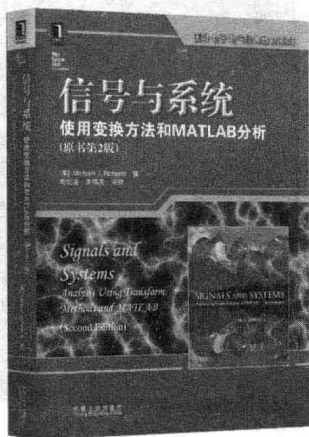
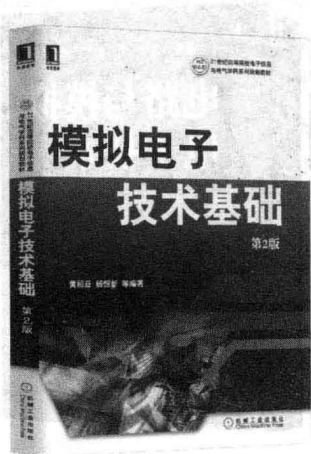
内容选材合理、取舍恰当,新器件、新方法介绍适度,符合教指委制定的专业规范要求。基本概念讲授准确、透彻,注重物理概念阐述,必要的定理推导简明扼要,思路清晰、严谨,结论明确;常用的分析方法讲述步骤清楚有条理,举例类型多,结合工程实际,具有启发性;电路定理阐述简练,应用范围、条件明确,使用中应注意的问题归纳详尽。适合作为计算机专业“电路”课程教材。

电路与模拟电子技术

作者: 黄锦安 付文红 ISBN: 978-7-111-25228-3 定价: 38.00元

本书根据高等学校电子与电气信息类基础课程教学指导分委员会关于“电路分析基础”和“模拟电子技术”课程教学的基本要求,结合计算机及其他少学时专业的教学特点,统筹安排了电路理论与模拟电子技术的基本知识。尤其适合作为普通高等院校计算机、电子信息工程等专业的本科生教材,也可作为相关工程技术人员的学习参考用书。

推荐阅读



模拟电子技术基础 (第2版)

作者: 黄丽亚 杨恒新 ISBN: 978-7-111-38699-5 出版时间: 2012年8月 定价: 39.00元

本书精选内容,突出重点,强化三基。以分立元件电路为基础,以集成电路为重点,强调概念的物理本质和含义。注重培养电路设计能力。注重模拟电路与数字电路教学内容的衔接,将集成门电路内容纳入模拟电路部分。第2版在第1版的基础上,增加有源滤波器设计举例、滤波器设计软件FilterPro简介;更新Multisim 8至Multisim 11,增加Multisim 11应用举例;删除了ispPAC芯片相关内容。可作为电子信息、电气、自动化、控制类专业“模拟电子技术”课程教材。

信号与系统: 使用变换方法和MATLAB分析 (原书第2版)

作者: (美) M. J. Roberts 译者: 胡剑凌 ISBN: 978-7-111-42188-7 出版时间: 2013年6月 定价: 89.00

信号与系统课程是数字信号处理和控制理论等课程的基础课程,本书以主要涵盖傅里叶变换、傅里变换分析、拉普拉斯变换、拉普拉斯变换分析、离散时间系统的z变换、z变换分析等。书中给出了大量的例子,并介绍实现分析方法的MATLAB函数和运算。可作为电子信息类相关专业的本科生教材。

数字信号处理: 系统分析与设计 (原书第2版)

作者: (巴西) Paulo S. R. Diniz 等译者: 张太镒等 ISBN: 978-7-111-41475-9 出版时间: 2013年4月 定价: 85.00元

英文版 ISBN: 978-7-111-38253-9 出版时间: 2012年6月 定价: 79.00元

本书全面、系统地阐述了数字信号处理的基本理论和分析方法,详细介绍了离散时间信号及系统、傅里叶变换、z变换、小波分析和数字滤波器设计的确定性数字信号处理,以及多重速率数字信号处理系统、线性预测、时频分析和谱估计等随机数字信号处理,使读者深刻理解数字信号处理的理论和设计方法。本书不仅可以作为高等院校电子、通信、电气工程与自动化、机械电子工程和机电一体化等专业本科生或研究生教材,还可作为工程技术人员DSP设计方面的参考书。

目 录

教学建议 前 言

第 1 章 电路的基本概念与基本

定律 1

1.1 集总电路模型 1

1.1.1 实际电路 1

1.1.2 集总电路模型 3

1.2 电流和电压的参考方向 4

1.2.1 电流及其参考方向 5

1.2.2 电压及其参考方向 6

1.2.3 电压和电流参考方向的关联性 7

1.3 电功率和电能 7

1.4 电阻、电容及电感元件 10

1.4.1 电阻元件 10

1.4.2 电容元件 13

1.4.3 电感元件 16

1.5 电压源和电流源 20

1.5.1 电压源 20

1.5.2 电流源 21

1.6 受控源 22

1.7 基尔霍夫定律 24

1.7.1 基尔霍夫电流定律 25

1.7.2 基尔霍夫电压定律 26

1.8 电路中的电位及其计算 27

1.8.1 电位的概念 27

1.8.2 电位的计算 29

习题 30

第 2 章 电路的等效变换 34

2.1 等效变换的概念 34

2.2 单口网络的 VCR 34

2.3 单口网络的等效变换 36

2.3.1 电阻的串联与并联 36

2.3.2 理想电源的串联与并联 39

2.3.3 实际电压源与实际电流源的

等效变换 41

2.3.4 含受控源电路的等效变换 44

2.4 电阻的 T 形网络和 Π 形网络的

等效变换 46

习题 49

第 3 章 电路的基本分析方法 54

3.1 KCL 和 KVL 的独立方程数 54

3.2 支路分析法 55

3.3 网孔分析法 57

3.4 节点分析法 61

习题 66

第 4 章 电路定理 69

4.1 齐次定理 69

4.2 叠加定理 70

4.3 置换定理 73

4.4 戴维南定理和诺顿定理 75

4.4.1 戴维南定理 75

4.4.2 诺顿定理 79

4.5 互易定理 81

4.6 特勒根定理 84

4.7 对偶原理 85

习题 87

第 5 章 正弦稳态电路 91

5.1 正弦量的基本概念 91

5.1.1 正弦量的三要素 91

5.1.2 正弦量的有效值 92

5.2 相量表示与相量变换 93

5.2.1 正弦量的相量表示 93

5.2.2 相量变换的性质 95

5.3 基尔霍夫定律和电路元件 VCR 的

相量形式 95

5.3.1 基尔霍夫定律的相量形式 95

5.3.2 电路元件 VCR 的相量形式 96

5.4 正弦稳态电路与电阻电路	100	8.2.1 一阶电路的全响应	147
5.4.1 阻抗和导纳的引入	100	8.2.2 一阶电路的零输入响应	151
5.4.2 相量模型的引入	102	8.2.3 一阶电路的零状态响应	153
5.5 正弦稳态电路的分析	102	8.2.4 一阶电路的阶跃响应	155
5.6 正弦稳态电路的功率	107	8.2.5 一阶电路的冲激响应	156
5.6.1 正弦稳态单口网络的功率	107	8.3 二阶电路的分析	158
5.6.2 复功率	110	8.3.1 二阶电路的零输入响应	158
5.6.3 功率因数的提高	111	8.3.2 二阶电路的零状态响应	161
5.6.4 最大功率传输	113	习题	163
5.7 谐振电路	115	第9章 二端口网络	166
5.7.1 串联谐振	115	9.1 二端口网络的 VCR 及其等效	
5.7.2 并联谐振	119	电路	166
习题	120	9.1.1 z 模型	167
第6章 耦合电感和理想变压器	125	9.1.2 y 模型	167
6.1 耦合电感	125	9.1.3 h 模型	168
6.1.1 基本概念	125	9.1.4 g 模型	169
6.1.2 耦合电感的 VCR	126	9.2 二端口网络各参数间的换算关系	172
6.1.3 互感电路分析	128	9.3 二端口网络的连接	173
6.2 空心变压器	131	9.3.1 二端口网络的串联	173
6.3 理想变压器	133	9.3.2 二端口网络的并联	174
习题	135	9.3.3 二端口网络的级联	174
第7章 三相电路	137	9.4 具有端接的二端口网络	175
7.1 对称三相电源	137	9.4.1 输入阻抗	175
7.1.1 三相电源电压	137	9.4.2 开路电压与输出阻抗	176
7.1.2 三相电源的联结	138	9.4.3 电流传输函数和电压传输	
7.2 三相电路的分析	139	函数	176
7.2.1 三相电路中的负载	139	习题	176
7.2.2 负载为三角形联结	140	第10章 非线性电阻电路分析	179
7.2.3 负载为星形联结	140	10.1 含二极管的电阻电路	179
7.3 三相电路的功率	142	10.2 含晶体管的电阻电路	185
习题	143	10.3 含运算放大器的电阻电路	187
第8章 一阶电路和二阶电路	145	习题	194
8.1 电路初始值的确定	145	参考文献	196
8.2 一阶电路的分析	147		

第 1 章 电路的基本概念与基本定律

电路分析是电气信息类专业的重要基础，是连接基础知识与专业知识的桥梁。学习电路的基本概念与基本定律，可为我们掌握电路的基本理论、基本分析方法打下基础。

本章首先介绍电路的概念和描述电路的基本物理量，再介绍组成电路的基本元件，以及电路中的独立源、受控源，并通过仿真了解它们的特性。电路的基本定律是本章的重点，也是学习后续内容的基础。最后，介绍电子电路中常用概念电位及其计算。

1.1 集总电路模型

将实际问题模型化是人们研究客观世界的一种基本方法，比如，在力学中研究物体运动时引入了质点、刚体等模型，从而得到了反映物体运动基本规律的定理和定律。研究实际电路问题也同样采用了模型化的方法。

1.1.1 实际电路

说起电路，我们曾在中学里就有所接触，比如简单的串并联电路，从日常生活中的许多电气设备(如电视机、音响设备、计算机、电话机、手机等)和工农业生产、科学研究等领域中的通信系统、电力网络等，都可以看到具有各种功能的电路。虽说这些电路的特性和功能各不相同，但就其功能来说，大致分为两种：一是实现电能的传输和转换，如电力网络将电能从发电厂输送到各个用户，为各种电气设备供电；二是实现电信号的传输、处理和存储，如通信系统、计算机电路等。









概括起来，这些电路是由一些电器设备或元器件，按其所要完成的功能，用一定方式连接而成的，它们称为实际电路。一个实际电路构成了电流流通的路径。

为了研究的方便，实际电路中的电气元器件可以用图形符号来表示，采用这些符号便可以绘出实际电路的连线图，即电气图。表 1-1 列出了一些我国国家标准中的电气图形符号。

表 1-1 部分电气图形符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线		传声器		可变电阻器	
连接的导线		扬声器		电容器	
接地		二极管		电感器、线圈	
接机壳		稳压二极管		变压器	
开关		隧道二极管		铁心变压器	

(续)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
熔断丝		晶体管		直流发电机	
灯		电池		直流电动机	
电压表		电阻器			

以最简单的实际电路手电筒为例，它由干电池、小灯泡、开关、连接导体组成。手电筒的实体图、电气图分别如图 1-1a、b 所示。

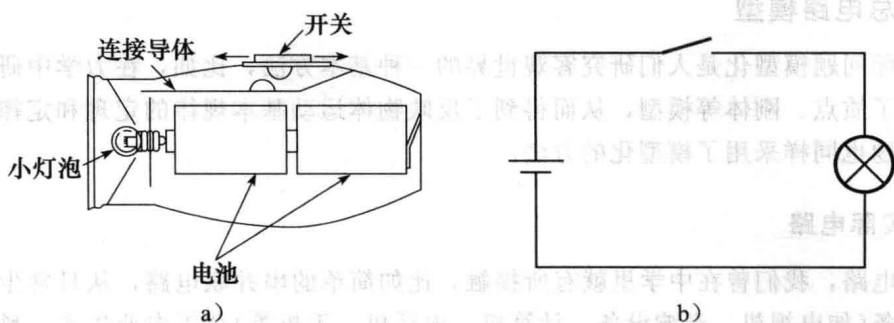


图 1-1 手电筒的实体图和电气图

一个实际电路由电源、负载和中间环节三部分组成。其中，电源(如发电机、电池等电能供应设备)可将非电能(如化学能、机械能、原子能、光能等)转换成电能，为电路提供能量；负载(如小灯泡、电动机、电炉丝、扬声器等电能取用设备)可将电路的电能转换为非电能；中间环节是指将电源与负载连接成闭合电路的导线、开关等。

根据实际电路的几何尺寸(d)与电路工作信号的波长(λ)将电路分为两大类。

集总参数电路：实际电路的几何尺寸与作用于电路工作信号的波长相比小得多，即

$$d \ll \lambda \quad (1.1)$$

或者说，作用于电路上的信号从一端传到另一端所需要的时间 τ 远小于该信号的周期 T ，即

$$\tau \ll T \quad (1.2)$$

此时，可认为电路集中于空间的一点，其中的电磁过程是在瞬间完成的，这样的电路可按集总参数电路来处理，它满足一般的电路定律，分析、求解相关电路参数比较简单。

分布参数电路：电路的几何尺寸与工作信号的波长相比不可忽略，也就是说，在分析电路各个参数时，不能只在理想状态下考虑，要顾及到实际电路尺寸对相关电路参数的影响。

例如，工频频率为 50Hz，对应的波长为 6×10^6 m，显然，对以此为工作频率的用电设备来说，其尺寸远小于这一波长，因此可以按集总参数电路处理。而对于 10^6 m 量级的远距离输电线来说，则不满足集总参数电路条件，就须考虑电场、磁场沿线的分布。在工程中，当电路的各向尺寸小于 $\lambda/10$ 时，一般可按集总参数电路处理。

再比如,一个 20kHz 的音频信号,对应的波长为 15km,音频放大器的实际尺寸远远小于此波长,所以可以按集总参数电路处理。

又如,当信号频率为 400MHz 时,其对应波长为 0.75m,所以,若接收该信号的天线为 0.1m,则不能按集总参数电路处理。

本书将着重讨论集总参数电路,在以后的章节中,若无特别说明,均简称为电路。

1.1.2 集总电路模型

任何实际电路是由多种电气元器件组成的,电路在运行过程中,这些元器件都包含能量的消耗、电场能量的储存和磁场能量的储存,所表征的电磁现象和能量转换的特征都很复杂,比如小灯泡中的灯丝,它不仅对电流呈现电阻的性质,当电流通过时还会产生磁场,表现为电感的性质等。可见,按照实际电气元器件绘出的电气图来分析电路是有困难的。因此,我们必须在一定条件下,对电路中的各个电气元器件,忽略其次要因素,用一个足以表征其主要性质的模型来表示,即建立一个理想化模型,类似于力学中研究物体运动规律的方法,将实际物体视为质点、刚体等。

对于集总参数电路来说,可以用集总参数元件来构成各个电气元器件的模型。集总参数元件是只反映单一电磁性质的电路元件,且可以用严格的数学方法来定义。比如,电阻元件只涉及电能的消耗;电容元件只涉及与电场有关的现象;电感元件只涉及与磁场有关的现象,另外,还有电压源、电流源等元件,它们均可以用图形符号来表示,如在中学里曾经学过的电阻、电容、电感等符号。

在不同的条件下,同一个电气元器件的模型也不同,有时比较简单,只需涉及一种集总参数元件,而有时则需几种来构成。比如,线圈是我们经常用到的电路元件,现在来看看线圈的不同电路模型。在图 1-2 中,a 图是线圈的实体图,b 图是线圈的图形符号,c 图是线圈通过低频交流模型,d 图则是线圈通过高频交流的模型。这是因为对应不同的工作频率,线圈表现出来的特性不同。值得注意,没有哪一个模型可以完美呈现电路在不同工作模式下表现出来的不同特性。

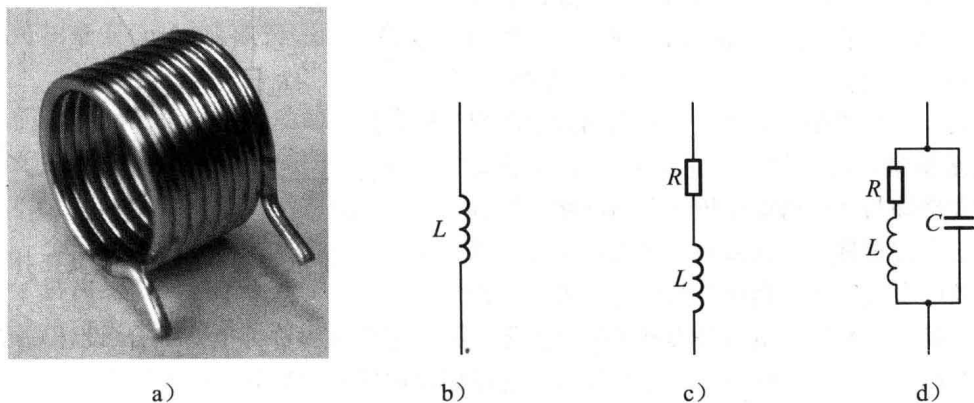


图 1-2 线圈的几种电路模型

由集总参数元件组成的电路,即为实际电路的集总电路模型(或集总电路),它可以近似地描述实际电路的电气特性。我们往往根据实际电路的不同工作条件和对模型精确度的

不同要求,用不同的电路模型模拟同一个实际电路。电路分析的对象是电路模型而不是实际电路,电路图则是用元器件图形符号所表示的电路模型。表 1-2 给出了电路模型中常用电路元器件的符号。

表 1-2 电路模型中常用电路元器件符号

名称	符号	名称	符号
理想导线		理想二极管	
连接的导线		独立电压源	
理想开关		独立电流源	
接地点		受控电压源	
电阻		受控电流源	
可变电阻		理想运算放大器	
非线性电阻		理想变压器和耦合电感	
电容		回转器	
电感			

现在回到手电筒的例子中。如何将这个实际电路抽象为电路模型呢?具体做法是:忽略小灯泡的电感等性质,只用一个电阻元件 R_L 作为小灯泡的模型;以电压源元件 U_s 与电阻元件 R_1 串联作为干电池的模型;开关为理想开关 S ,即闭合时电阻为零、断开时电阻为无穷大,且开、闭动作时间为零;导线为理想导线,即导线电阻为零。据此,可得到手电筒实际电路的电路模型,如图 1-3 所示,a 图为电路模型,即电路图,b 图为电路拓扑结构。

总之,我们根据实际电路,可得出理想状况下的电路模型,之后就可以进行理论的计算分析,进而获知与实际情况比较吻合的电路特性或参数,这个过程称为电路分析。当然,也可以根据所需要的电气特性,利用电路综合的思想,设计出电路模型,然后再由电路模型转化为实际电路,这个过程称为电路综合(设计)。前者是后者的基础,本书的讨论重点是电路分析,电路综合在部分章节中也有所涉及。

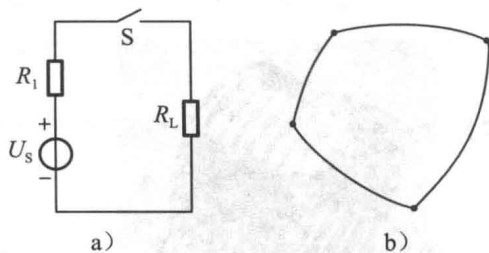


图 1-3 手电筒的电路模型及其拓扑结构

1.2 电流和电压的参考方向

前一节讨论了如何将一个实际电路转换为电路模型的问题,接下来的主要任务是如何计算、分析电路模型,解得描述电路电性能的若干变量,比如,电流、电压和功率等,从

而能够得出给定电路的电性能。

其实，在中学曾经学过简单电路的电流、电压和功率的计算，如图 1-4a 所示，是一个简单的串并联集总电路模型，电路中各处的电流方向可根据电源来判断，电流大小的计算可根据欧姆定律求得，方向判断和大小计算可分别进行。但是，如果计算图 1-4b 所示电路中流过 R_5 的电流值，就不是那么简单了。看来，在分析和计算复杂电路时，往往难以事先判断电流或电压的实际方向，那该如何解决这个问题呢？

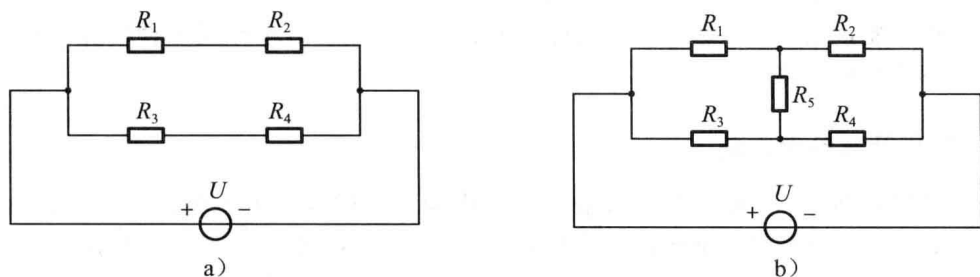


图 1-4 简单电路和复杂电路实例

1.2.1 电流及其参考方向

我们知道，电流是由电荷作定向运动而形成的，习惯上把正电荷运动的方向定为电流的实际方向，即由高电位向低电位运动的方向。计量电流大小的物理量叫做电流强度，简称电流。其定义是：单位时间内通过导体横截面的电量，即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.3)$$

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流， $i(t)$ 以 I 表示。如果电流随时间变化，则 $i(t)$ 为瞬时电流值，这种电流称为时变电流。若时变电流的大小和方向都随时间作周期性变化，则称为交变电流，简称交流。

在国际单位制中，电流的单位为安(A)。对于很大的电流可用千安(kA)，而对于很小的电流可用毫安(mA)或微安(μA)甚至纳安(nA)等单位，它们的关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}, \quad 1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

人们习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向，但在分析电路时，往往不能事先确定电流的实际方向，如图 1-4b 所示电路中流过 R_5 电流的方向，如果电路中的电流为交流(见第 6 章)，其电流的实际方向是随着时间不断变化的，显然，我们无法在电路图上标出一个固定的箭头来表示电流的实际方向。

为了解决这个问题，引入了参考方向的概念。参考方向可任意设定，在电路图中以箭头表示，也可以采用双下标来表示电流的参考方向(又称电流的正方向)，如图 1-5 所示。

规定：若电流的实际方向与参考方向一致，电流为正值；若二者相反，电流为负值。这样就可以根据参考方向和电流值的正负，来说明电流的实际方向及其大小。因此，分析电路时的第一件事是在电路图中任意标出电流的参考方向，然后进行分析计算，再得

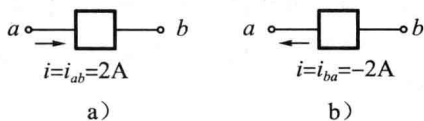


图 1-5 电流的参考方向

出结论。必须指出, 在没有标出参考方向的前提下, 讨论电流的正负是没有意义的。

在图 1-5 所示的二端元件中, 如果电流实际方向为由 a 点指向 b 点, 当规定电流参考方向也是由 a 点指向 b 点, 该电流 $i=2\text{A}$, 如图 1-5a 所示; 若规定电流参考方向由 b 点指向 a 点, 则电流 $i=-2\text{A}$, 如图 1-5b 所示, 或者写为 $i_{ab}=2\text{A}$ 或 $i_{ba}=-2\text{A}$ 。

显然, 有

$$i_{ab} = -i_{ba}$$

我们约定, 电路图中所标的电流方向均为参考方向, 当然不一定是电流的实际方向, 但只有两种可能, 电流的参考方向与实际方向相同, 或相反; 不论是哪种情况, 都不会影响电路分析结论的正确性。

1.2.2 电压及其参考方向

以手电筒电路为例, 电池的正极板 a 带正电荷, 负极板 b 带负电荷, 于是在 a 、 b 之间存在电场。当用导线将电池极板与小灯泡相连时, 则正电荷在电场力的作用下, 从 a 经导线、小灯泡移动到 b , 形成电流并使小灯泡发光, 说明电场力做功了。为了衡量电场力对电荷做功能力的大小, 引入了物理量“电压”。其定义为: 电路中 a 、 b 两点间的电压在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点时电场力所做的功, 或者说, 单位正电荷的电位能差, 即

$$u_{ab}(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.4)$$

其中, dq 为由 a 点移动到 b 点的电量, dw 为电场力移动电荷 dq 所做的功, 也等于 dq 移动过程中所获得或者失去的能量。

如果电压的大小和极性都不随时间变化, 则这样的电压称为恒定电压或直流电压, $u(t)$ 以 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化, 则 $u(t)$ 为瞬时电压值, 这种电压称为时变电压。若时变电压的大小和方向都随时间作周期性变化, 则称为交流电压。

电压又称为电位差, 即

$$u_{ab} = u_a - u_b \quad (1.5)$$

式中, u_a 、 u_b 分别为 a 、 b 两点的电位。在上例中, 正电荷在电场力作用下从 a 经小灯泡移到 b , 将电源的电能转换为灯丝的热能, 即电源损失了电能, 这说明正电荷在 a 点的电能大于 b 点。也就是说, a 点电位高于 b 点电位, 即高电位与低电位之差(即电位差)为正电压值, 据此, 规定电压的方向为电位降的方向, 即由高电位端指向低电位端, 并且高电位端标以“+”, 低电位端标以“-”。在电路中用箭头标出电压方向。

在国际单位制中, 电压的单位为伏(V)。对于很高的电压可用千伏(kV), 而对于微小的电压可用毫伏(mV)或微伏(μV)等单位, 它们的关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

与电流类似, 电路中电压的实际方向往往也不能事先确定, 所以在电路分析时, 必须首先规定电压的参考方向(又称参考极性)。参考方向可任意设定, 在电路图中以箭头表示, 参考极性则以“+”、“-”符号来表示。也可以采用双下标来表示电压的参考方向。同样有

$$u_{ab} = -u_{ba}$$

规定: 如果计算出来的 $u_{ab}(t) > 0$, 则表明该电压的实际极性与参考极性相同, 即 a

点的电位比 b 点的电位高；若 $u_{ab}(t) < 0$ ，则表明该电压的实际极性与参考极性相反，即 a 点的电位比 b 点的电位低。

类似地，根据参考方向和电压值的正负，来说明电压的实际方向及其大小。必须指出，在没有标出参考方向的前提下，讨论电压的正负也是没有意义的。

1.2.3 电压和电流参考方向的关联性

上面分别讨论了电压的参考方向和电流的参考方向，两者之间是什么关系呢？实际上，二者是可以独立无关地任意假定的，于是，对于一个二端元件来说，电压的参考极性和电流参考方向的选择可能有4种方式，如图1-6所示。

在图1-6中，a图和b图电压与电流的参考方向一致，即所谓关联的参考方向，而c图和d图则是非关联的参考方向。为了电路分析和计算的简便，常常采用电压、电流关联的参考方向，即当电压的参考极性已经规定时，电流参考方向从“+”指向“-”；当电流的参考方向已经规定时，电压参考极性的“+”标示在电流参考方向的始端，“-”标示在电流参考方向的末端。在这种情况下，电路图上只需标出电流的参考方向或电压的参考方向即可。

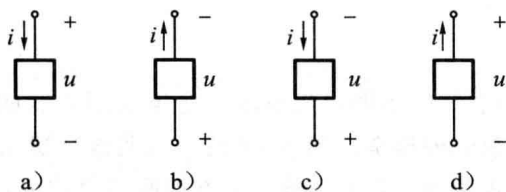


图1-6 电压参考极性和电流参考方向的选择

【例 1.1】 在图1-7a中，5个元件上的电流与电压的参考方向设定为关联参考方向，其中标出了电流的参考方向。已知 $u_1 = 100\text{V}$ ， $u_2 = -70\text{V}$ ， $u_3 = 60\text{V}$ ， $u_4 = -40\text{V}$ ， $u_5 = 10\text{V}$ ， $i_1 = -4\text{A}$ ， $i_2 = 2\text{A}$ ， $i_3 = 6\text{A}$ 。试标出各电流的实际方向和电压的实际极性。

解： 已知各元件上电流 i 、电压 u 的参考方向，根据 i 、 u 值的正负，判断 i 、 u 的实际方向与参考方向是否一致。 i 、 u 值为正，表明实际方向与参考方向一致； i 、 u 值为负，表明实际方向与参考方向相反。据此，标出各元件的电流、电压的实际方向如图1-7b所示。

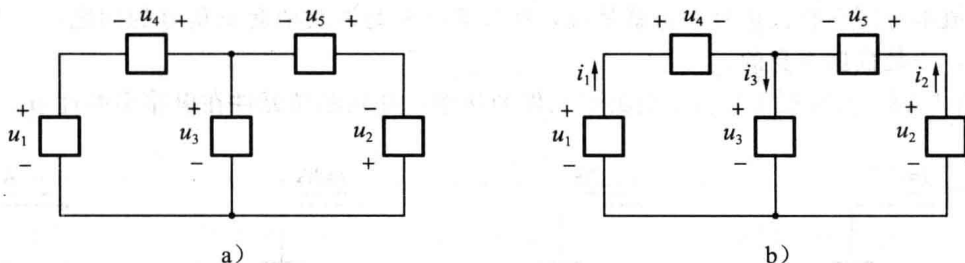


图1-7 例1.1的图

1.3 电功率和电能

我们知道，当电流通过一段电路时，电场力对电荷做功，在这个过程中，电能转化为其他形式的能量。比如手电筒电路，电能转化为热能，由导线和灯丝释放；若将小灯泡以直流电动机取代，电能的一小部分转化为热能，大部分转化为机械能，由电动机对