



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

电工电子基础

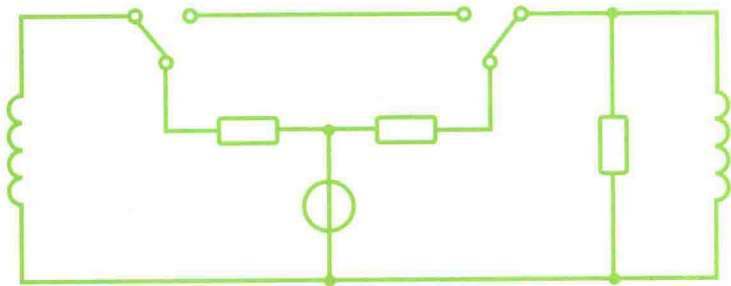
Circuit Analysis

电路分析

劳五一 劳佳 编著

Lao Wuyi

Lao Jia



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Circuit Analysis

电路分析

劳五一 劳佳 编著

Lao Wuyi

Lao Jia

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是高等院校电子信息类专业的“电路分析”课程教材,全书共分10章,主要内容包括电路模型及其两类约束、电阻电路的等效变换、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,每章还介绍了与该章内容相关的Multisim仿真实验,并配有分析题和设计题,可满足不同读者的需要。

本书可作为高等院校电子与电气信息类专业本科生与专科生的“电路分析”课程教材,也可作为相关教学研究人员和工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/劳五一,劳佳编著. —北京:清华大学出版社,2017
(高等学校电子信息类专业系列教材)
ISBN 978-7-302-47252-0

I. ①电… II. ①劳… ②劳… 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(2017)第 125956 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20,25

字 数:493千字

版 次:2017年8月第1版

印 次:2017年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:063907-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

“电路分析”是普通高等院校电类专业的一门重要的专业技术基础课,它的任务是在给定电路模型的情况下,通过求解电路中各部分的电压和电流来了解其特性。作者在多年教学实践中发现,通过这门课,学生除了应掌握电路的基本概念、基本规律、基本分析方法和定理等内容外,还应学会计算机软件仿真,以及树立电路设计思想,这样更有利于本课程的学习,有利于与后续专业课程的衔接,有利于满足行业对专业人才的知识要求。

电路理论应该与实践紧密结合,二者相辅相成。本书每一章均在讲述“电路分析”理论的基础上,介绍了与之相关的仿真实验,利用 Multisim^① 仿真软件对所学内容进行分析和设计验证。每一章的习题均分为分析题和设计题,旨在能够更好地培养学生认识、分析和设计电路的能力。我们在教学中深刻体会到,学生往往只是分析一个给定的电路,而对设计一个电路无从下手,哪怕是最简单的一个电阻分压电路、一个 RLC 谐振电路。为此,本教材每一章中特意编写了实际电路设计方面的题目,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。

本书整体分为三个部分。第 1~7 章介绍电路的稳态分析方法,包括直流电阻电路分析和正弦交流电路分析,直流分析是交流分析的基础,而稳态分析是本课程的核心内容。第 8 章介绍电路的动态分析,通过本章,读者可以学习动态分析的方法,掌握一些结论性的知识点。为了与后续课程知识衔接,还需要学习第 9 章二端口网络和第 10 章非线性电阻电路分析,前者是模拟电路中建立放大电路模型所涉及的知识,介绍从端口分析问题的方法,后者选择了模拟电路中常见的二极管电路、晶体管电路和集成运算放大器电路作为实例,介绍由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。

本书的特点是理论分析与仿真实验相结合,理论知识与实际问题相结合,电路分析与电路设计相结合。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2017 年 4 月于上海

① 本书采用的仿真软件为 Multisim 英文版,书中仿真图中的图字为英文。

教学建议

本书知识可分为电路理论和仿真实验两大部分,它们共同构成一个完整的“电路分析”教学内容。通过本课程的学习,一是掌握电路的基本概念、基本规律、基本分析方法和基本定理等;二是学会使用一种计算机软件仿真(Multisim),并在元器件认识、电路搭建、仪器仪表使用、实验验证和电路设计等方面积累经验,为后续专业课的学习奠定理论和实验基础。

本书的电路理论又可分为三部分——电路的稳态分析、电路的动态分析和电路理论应用。下面给出了教学学时建议,仅供参考。

章 名	知 识 要 点	建议学时	其 他 说 明
第 1 章 电路模型及其两类约束	集总电路模型 电路的基本物理量 电路的基本元件及其 VCR 基尔霍夫定律 电路中的电位及其计算	12	学生仿真实验:电阻元件 VCR 曲线的测量
第 2 章 电阻电路的等效变换	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	学生仿真实验:直流扫描分析
第 3 章 电路的基本分析方法	基于两类约束的独立方程 支路分析法 网孔分析法 节点分析法	6	学生仿真实验: 直流工作点分析
第 4 章 电路定理	齐次定理 叠加定理 置换定理 戴维南定理和诺顿定理 最大功率传输定理 互易定理 特勒根定理 对偶原理	12	学生仿真实验: 叠加定理和戴维南定理研究

续表

章 名	知 识 要 点	建议学时	其 他 说 明
第 5 章 正弦稳态分析	正弦量的基本概念 正弦量的相量表示与相量变换 基尔霍夫定律和电路元件 VCR 的相量形式 正弦稳态电路与电阻电路的类比 正弦稳态电路的分析 正弦稳态电路的功率 谐振电路	12	学生仿真实验：瞬态分析和交流分析
第 6 章 耦合电感和理想变压器	耦合电感 空心变压器 理想变压器	4	学生仿真实验：功率因数的提高
第 7 章 三相电路	对称三相电源 三相电路的分析 三相电路的功率	4	学生仿真实验：三相电路
第 8 章 一阶电路和二阶电路	电路初始值的确定 一阶电路的分析：三要素法 二阶电路的分析	8	学生仿真实验：RC 应用电路
第 9 章 二端口网络	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	学生仿真实验：LC 无源滤波器
第 10 章 非线性电阻电路分析	含二极管的电阻电路 含双极型晶体管的电阻电路 含集成运算放大器的电阻电路	4	学生仿真实验：受控源研究
教学总学时		72	若 72 学时,有 2 学时机动;若 54 学时,每章学时适当减少

我们的尝试:

(1) 按照传统的教学模式,电路理论与电路实验教学是分别独立进行的。计算机仿真软件的出现,为我们搭建了一个很好的电路学习平台,通过自行实验,不仅可以对已学电路理论进行验证和学习,而且通过设计实验电路得到习题答案,为电路实验的实际操作奠定基础。

(2) 从内容上看,电路的稳态分析是本课程的重点,为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前 7 章,且前者又是后者的基础,这样学生更易接受。

(3) 我们注重本课程与后续课程的衔接,特别是对大学低年级的学生来说尤为重要。因此,书中介绍了电子电路中常用的概念——电位,介绍了与建立放大电路模型相关的知识点——二端口网络,介绍了模拟电路中常见非线性器件的外特性及其相关电路分析方法——非线性电阻电路分析,以有助于后续课程的学习。

(4) 随着行业的发展和需求,电路设计已是学生必须掌握的内容之一。在习题方面,我们编写了分析题和设计题,而设计题多数来自实际工作中。这样,从学习之初就使学生树立电路设计的思想,旨在培养学生分析、设计电路的能力。

目录

CONTENTS

第 1 章 电路模型及其两类约束	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 电路的基本物理量	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
1.2.3 电压和电流参考方向的关联性.....	7
1.2.4 电功率和电能.....	8
1.3 电路的基本元件.....	11
1.3.1 电阻元件	11
1.3.2 电容元件	15
1.3.3 电感元件	18
1.3.4 独立电源元件	23
1.3.5 受控源元件	26
1.4 基尔霍夫定律.....	28
1.4.1 基尔霍夫电流定律	29
1.4.2 基尔霍夫电压定律	30
1.5 电路中的电位及其计算.....	32
1.5.1 电位的概念	32
1.5.2 电位的计算	34
1.6 仿真实验——电阻元件 VCR 曲线的测量	35
习题	37
第 2 章 电阻电路的等效变换	41
2.1 等效变换的概念.....	41
2.2 单口网络的 VCR	42
2.3 单口网络的等效变换.....	43
2.3.1 电阻的串联与并联	43
2.3.2 理想电源的串联与并联	46
2.3.3 实际电压源与实际电流源的等效变换	49
2.3.4 含受控源电路的等效变换	51
2.4 电阻的 T 形网络和 Π 形网络的等效变换	53
2.5 仿真实验——直流扫描分析.....	56
习题	61

第 3 章 电路的基本分析方法	66
3.1 基于两类约束的独立方程	66
3.2 支路分析法	68
3.3 网孔分析法	70
3.4 节点分析法	75
3.5 仿真实验——直流工作点分析	81
习题	85
第 4 章 电路定理	89
4.1 齐次定理	89
4.2 叠加定理	91
4.3 置换定理	94
4.4 戴维南定理和诺顿定理	96
4.4.1 戴维南定理	96
4.4.2 诺顿定理	101
4.5 最大功率传输定理	103
4.6 互易定理	104
4.7 特勒根定理	107
4.8 对偶原理	109
4.9 仿真实验——叠加定理和戴维南定理研究	110
4.9.1 叠加定理	110
4.9.2 戴维南定理	111
习题	113
第 5 章 正弦稳态电路	119
5.1 正弦量的基本概念	119
5.1.1 正弦量的三要素	120
5.1.2 正弦量的有效值	121
5.2 正弦量的相量表示与相量变换	122
5.2.1 正弦量的相量表示	122
5.2.2 相量变换的性质	123
5.3 基尔霍夫定律和电路元件 VCR 的相量形式	124
5.3.1 基尔霍夫定律的相量形式	124
5.3.2 电路元件 VCR 的相量形式	125
5.4 正弦稳态电路与电阻电路的类比	129
5.4.1 阻抗和导纳的引入	129
5.4.2 相量模型的引入	131
5.5 正弦稳态电路的分析	132
5.6 正弦稳态电路的功率	138
5.6.1 正弦稳态单口网络的功率	138
5.6.2 复功率	141
5.6.3 功率因数的提高	143
5.6.4 最大功率传输	144
5.7 谐振电路	147
5.7.1 串联谐振	147
5.7.2 并联谐振	151

5.8	仿真实验——瞬态分析和交流分析	152
5.8.1	瞬态分析	153
5.8.2	交流分析	155
	习题	156
第6章	耦合电感和理想变压器	162
6.1	耦合电感	162
6.1.1	基本概念	162
6.1.2	耦合电感的 VCR	163
6.1.3	互感电路分析	165
6.2	空心变压器	170
6.3	理想变压器	172
6.4	仿真实验——功率因数的提高	174
	习题	176
第7章	三相电路	179
7.1	对称三相电源	179
7.1.1	三相电源电压	179
7.1.2	三相电源的连接	180
7.2	三相电路的分析	182
7.2.1	三相电路中的负载	182
7.2.2	负载为三角形连接	182
7.2.3	负载为星形连接	183
7.3	三相电路的功率	186
7.4	仿真实验——三相电路	187
	习题	189
第8章	一阶电路和二阶电路	190
8.1	电路初始值的确定	190
8.2	一阶电路的分析	192
8.2.1	一阶电路的全响应	192
8.2.2	一阶电路的零输入响应	198
8.2.3	一阶电路的零状态响应	200
8.2.4	一阶电路的阶跃响应	202
8.2.5	一阶电路的冲激响应	204
8.3	二阶电路的分析	206
8.3.1	二阶电路的零输入响应	206
8.3.2	二阶电路的零状态响应	209
8.4	仿真实验——RC 应用电路	212
	习题	215
第9章	二端口网络	220
9.1	二端口网络的 VCR 及其等效电路	220
9.1.1	z 模型	221
9.1.2	y 模型	222
9.1.3	h 模型	223
9.1.4	g 模型	224
9.2	二端口网络各参数间的换算关系	228

9.3	二端口网络的连接	229
9.3.1	二端口网络的串联	229
9.3.2	二端口网络的并联	230
9.3.3	二端口网络的级联	230
9.4	具有端接的二端口网络	231
9.4.1	输入阻抗	232
9.4.2	开路电压与输出阻抗	232
9.4.3	电流传输函数和电压传输函数	232
9.5	仿真实验——LC 无源滤波器	233
	习题	236
第 10 章	非线性电阻电路分析	238
10.1	含二极管的电阻电路	238
10.2	含双极型晶体管的电阻电路	245
10.3	含集成运算放大器的电阻电路	247
10.4	仿真实验——受控源研究	255
	习题	258
附录 A	常用电子元器件简介	260
附录 B	NI Multisim 仿真	271
附录 C	电压测量法	299
附录 D	部分习题参考答案	301
	参考文献	310

“电路分析”课程是高等学校电子与电气信息类专业的重要基础课,是连接基础知识和专业知识的桥梁。通过本课程的学习,可使学生掌握电路的基本理论、基本分析方法和基本实验技能,为学习后续专业课程打下基础。

本章首先引入电路和电路模型的概念以及描述电路的基本物理量,然后介绍电路中的电压和电流所须满足的两类约束,即由电路元件决定的元件约束和由电路结构决定的拓扑约束。前者在电路的基本元件中介绍,后者即为基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是集总电路的基本定律。最后,介绍电子电路中常用概念电位及其计算和电阻元件 VCR 曲线的仿真实验。

1.1 集总电路模型

为了研究电路的普遍规律,需要将组成实际电路的“元件”在一定条件下按其主要电磁性质进行理想化,以此得到具有单一电磁性质的理想元件,通过对由理想元件组成的电路模型的分析,得到反映电路基本规律的定理和定律。

1.1.1 实际电路

我们曾在中学里接触过简单的小灯泡串并联电路,此外,在日常生活中的许多电气设备,如手机、电话机、计算机、电视机、音响设备等,还有工农业生产、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。尽管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,比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,实现了电能的传输和转换;又比如通信系统、计算机电路等,实现了电信号的传输、处理和存储。总之,这些电路都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,我们称之为实际电路。一个实际电路构成了电流流通的路径。

为了便于研究,人们采用图形符号来表示实际电路中的电气元器件,这样便可以绘出实际电路的连线图,即为电气图。表 1-1 列出了一些我国国家标准中的电气图形符号。

以我们熟知的手电筒为例,它的实际电路由于电池、小灯泡、开关、连接导体等组成,其实体图如图 1-1(a)所示,按照电气图形符号画出的电气图如图 1-1(b)所示。

概括起来,一个实际电路可由电源、负载和中间环节三部分组成。其中,电源(如发电

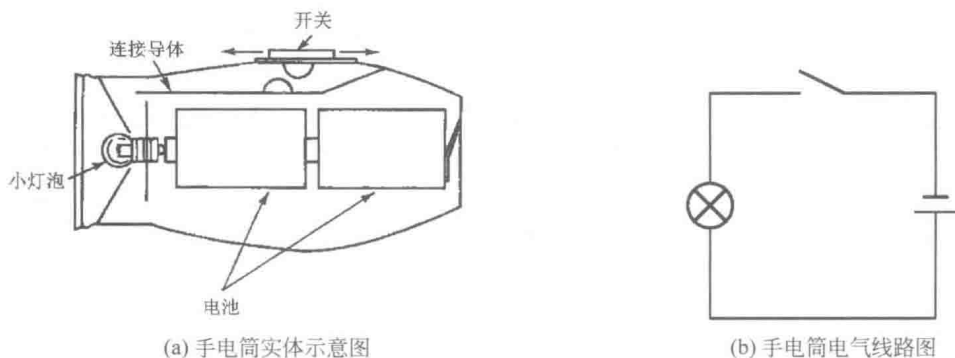


图 1-1 手电筒的实体图和电气图

机、电池等电能供应设备)可将非电能(如机械能、化学能、光能、原子能等)转换成电能,为电路提供能量;负载(如小灯泡、电炉丝、电动机、扬声器等电能取用设备)可将电路的电能转换为非电能;中间环节是连接电源与负载成为闭合电路的导线、开关等。

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			
熔断丝		晶体管		铁芯变压器	
灯		电池		直流发电机	
电压表		电阻器		直流电动机	

以实际电路的几何尺寸(d)与电路工作信号的波长(λ)作比较将电路分为两大类:

(1) 集总参数电路: 当实际电路的几何尺寸远小于电路工作信号的波长时, 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

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

则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。

(2) 分布参数电路: 若电路的几何尺寸与电路工作信号的波长相比不可忽略, 在分析电路各个参数时, 则不能只在理想状态下考虑, 需要顾及实际电路尺寸对相关电路参数的影响。

工程上, 当实际电路的几何尺寸小于电路工作信号波长的 $1/10$ 时, 一般可按集总参数电路处理。

例如, 日常生活中的工频频率为 50Hz , 对应的波长为 $\lambda=c/f=3\times 10^8/50=6\times 10^6\text{m}$, 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, 故可按集总参数电路处理。而对于 10^6m 量级的远距离输电线来说, 不满足集总参数电路条件, 则须考虑电场、磁场沿线的分布。再比如一个 15kHz 的音频信号, 对应的波长为 20km , 音频放大器的实际尺寸远小于此波长, 所以可以按集总参数电路处理。又如信号频率为 500MHz 时, 其对应波长为 0.6m , 若接收该信号的天线为 0.1m , 则不能按集总参数电路处理。

集总参数电路是本书重点讨论的内容, 在后续章节中, 若无特别说明, 均简称为电路。

1.1.2 集总电路模型

在任一实际电路的运行过程中, 由于电压或电流的作用, 其内部的电气元器件都包含有能量的消耗、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比较困难的。对此, 我们须在一定条件下, 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, 也就是建立一个理想化模型。

只反映单一电磁性质的电路元件称为集总参数元件, 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。据此, 就可以用集总参数元件来构成各个电气元器件的模型。

特别说明, 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, 这是经常用到的电路元件, 它所表现出的不同电路模型如图 1-2 所示, 图 1-2(a) 是线圈的实体图, 图 1-2(b) 是线圈的图形符号, 图 1-2(c) 是线圈通过低频交流电的模型, 图 1-2(d) 则是线圈通过高频交流电的模型。这是因为对应不同的工作频率, 线圈表现出来的特性也不同。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。

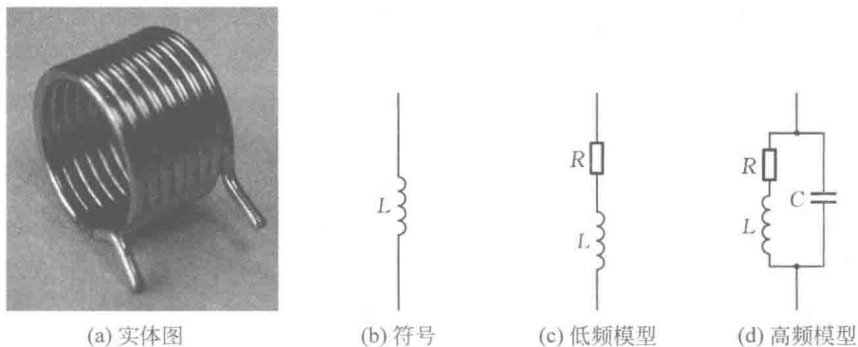





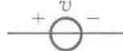



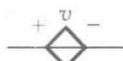



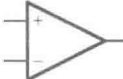





图 1-2 线圈的几种电路模型

由集总参数元件组成的电路就是实际电路的集总电路模型(或称集总电路),它可以近似地描述实际电路的电气特性。在实际中,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,用不同的电路模型来模拟同一个实际电路。

特别注意,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,以便分析和绘制电路图时参考。

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			
电感		回转器	

如何将一个实际电路抽象为电路模型呢?仍以手电筒为例,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 V_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,图 1-3(a)为电路模型,即电路图,图 1-3(b)为电路拓扑结构。

在工程实践中,我们往往需要做两方面的工作,一方面,根据实际电路,可得出理想状况下的电路模型,然后即可进行理论的分析 and 计算,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。另一方面,也可以根据所需要的电气特性,利用电路综合的思想,作出电路模型,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,本书重点讨论电路分析,电路综合在各章均有所涉及。