



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路分析教程

Electric Circuit Analysis

(第2版)

■ 燕庆明 主编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路分析教程

Electric Circuit Analysis (第2版)

■ 燕庆明 主编



高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,内容符合教育部最新颁布的《高等学校电路分析基础教学基本要求》。全书共10章,其内容包括:导论、基本概念、电路的分析方法、电路定理与应用、正弦交流电路、选频电路与谐振、双口网络分析、动态电路的瞬态分析、非线性电路分析和网络矩阵方程。本书体系合理、内容精练、图文并茂、例题丰富、突出应用,非常适合作为培养应用型本科生的教材。特别是,本书既介绍了本学科的最新成果,又通过“扩展与思考”等形式介绍了科技与人文、科学与艺术的统一美,文理渗透,启发诱导,有利于激发学生的学习兴趣,提高学生的综合素质。

本书可供高等学校的电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、电气工程及其自动化、计算机科学与技术、信息安全等专业的本科生作为“电路分析基础”或“电路”课程的教材,也可供广大科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析教程/燕庆明主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2007.6

ISBN 978-7-04-021448-2

I. 电… II. 燕… 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(2007)第050914号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 王莉莉 封面设计 张申申 责任绘图 吴文信
版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 唐山市润丰印务有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 27
字 数 500 000
插 页 2

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2003年8月第1版
2007年6月第2版
印 次 2007年6月第1次印刷
定 价 29.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21448-00

前 言

为了适应教学改革的发展,培养高素质的应用型人才,这次修订的第2版以教育部新颁布的《高等学校电路分析基础教学基本要求》为指导,根据国家“十一五”规划教材建设的要求,对第1版教材的内容认真精选、调整和凝炼,使之更加适应电气、电子信息类各专业本科学生的教学需要。

“电路分析”课程是大学电类专业重要的技术基础课。其概念清晰、理论优美、方法灵活、应用广泛。学好这门课程,对于学生开启心智、锻炼思维、提高分析和解决实际问题的能力非常重要。为了引导学生学好本课程,编者在修订中特别注意以下教学理念的贯彻:

1. 突出基本,循序渐进。尽管科技不断发展,但“电路”课程中的基本概念、基本理论和基本分析方法将长期有用。为了让学生掌握这些基本知识,本书以基础知识为重点,深入浅出,注重从物理概念和感性知识入手,并配以丰富的例题来讲述,进而认识一般规律。内容次序的安排,充分考虑到从简单到复杂,循序渐进的学习规律,坚持先电阻电路后动态电路;先线性电路后非线性电路;先稳态分析后瞬态分析。为了加强基础,本书第1版中的第3章现分为“电路的分析方法”和“电路定理与应用”两章叙述;为了突出基本,本书第1版中网络图论的主要部分现列为第10章并作为选学内容;为了形成整体的规律认识,本书第1版中一阶电路和二阶电路两章合并为“动态电路的瞬态分析”一章叙述;为了避免与后续课程“信号与系统”内容重复,关于频谱分析(傅里叶变换)和 s 域分析(拉普拉斯变换)等内容不列入本书。

2. 简约易懂,文理渗透。任何事物都有其美学的规律性。君不见:江河美在波涛,诗歌美在意境,社会美在和谐,规律美在简约。面对“电路分析”课程的丰富内容,本书着力追求的是尽量提炼其简约的本质,叙述简明易懂。力争以小知大,以简知繁,化抽象为具体,化具体为思想,从特殊到一般地启发学生掌握电路理论和分析方法。只有指导学生顺利入门,才有可能进一步深造。正所谓:“易则易知,简则易从”。为了加强素质教育,启迪科学创新意识,编者认为理工科学生应当适当了解一些相关知识和最新进展,以开阔视野,打开思路。为此,编者在许多章节中精心安排了近30处“扩展与思考”的内容。这些内容不属于基本要求,但读者可以从中体会科学思想、科学方法、科技与人文、科学与艺术、文理交融的重要精神。这对于激发学生的学习兴趣 and 思维能力的培养是有益的。

3. 联系实际,加强应用。电路理论源于实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。为了提高学生分析和解决实际问题的能力,这次修订在应用方面重点加强了三个环节。一是在正文内容中安排了许多实用例题,它们的作用是通过例题既学会了分析方法,又知道这些知识是如何用于实际的。二是结合有关章节内容,安排了18个应用实例分析,它们都是实际工程中应用的简单而典型的代表。三是在每章的习题中列入了一些实用性问题,引导学生自己分析解决。这样,学生可以通过理论联系实际的学习,达到提高能力的目的。

学习是认识人文和自然中所蕴涵的“春风春鸟,秋月秋蝉”和谐之美的思维过程,也是培养学生科学素养和思考能力的艰苦过程。我国古代科学家徐光启说过:“下学功夫,有理有事,此书为益,能令学理者祛其浮气、练其精心,学事者资其定法、发其巧思。”著名科学家李政道说:“求学问,需学问,只学答,非学问。”字字深刻,何等精妙!

“电路分析”是大学本科的电子信息、通信、自动化、电气工程、计算机、电子科学与技术、信息安全等专业必修的主干课程。要学好这门课程,除了要掌握好基本理论外,还要认真做大量习题并做好实验。若能在教师的指导下应用PSpice或MATLAB软件工具分析电路问题,学习效果会更好。书中打“*”号的内容不作基本要求,可根据专业需要选学。

为了便于师生参考,除了本书外,还配套重新编制了电子教案和全书的习题解析。通过这些不同形式的教学媒体,可对教与学两方面都有所帮助。

本书1~10章由燕庆明编写,鲁纯熙、何毓编写了附录并选编了习题及解答,同时提供了大量应用性素材。在修订本书的过程中,吸收了成都理工大学、江南大学等高校许多师生的反馈意见。感谢同济大学陆明达教授认真审阅了第1版和第2版的书稿,他提出了许多宝贵意见。另外,高等教育出版社的策划、编辑和有关同志与作者通力合作并给予了具体指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

时代催人,志在创新;错谬之处,诚望指正。

编著者

2007年2月

第 1 版前言

为了适应大学教学体系和教学内容改革的需要,加强素质教育,我们以教育部 1995 年颁布的《高等工业学校电路分析基础课程教学基本要求》为指导,结合我们长期教改的经验,为大学电气信息类本科学生编写了这本《电路分析教程》。

电路分析课程是大学电类专业重要的技术基础课。其概念丰富、理论优美、方法灵活、应用广泛。学好这门课程,对于学生开启心智、锻炼思维、提高分析和解决实际问题的能力非常重要。为此,我们在编写本书时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。虽然电路分析理论已发展到相当的高度,内容也很丰富,但作为大学生的电类基础课程,作者认为仍应确保基本概念、基本理论和基本分析方法的学习。起点不宜过高,论述不宜抽象。以基础知识为重点,以通俗、简明为方法,指导学生顺利入门,才有可能进一步深造。正所谓“易则易知,简则易从”。

二是文理渗透、启发诱导。为了加强素质教育,启迪科学创新意识,我们认为理工科学生应当适当了解一些相关知识和最新进展,以开阔视野,打开思路。为此,我们在许多章节中精心安排了“扩展与思考”的内容。这些内容不属于基本要求,但读者可以从中体会科学思想、科学方法、科技与人文、科学与艺术、文理交融的重要精神。这对于激发学生的学习兴趣 and 思维能力的培养是有益的。我们力图用深入浅出的语言、循序渐进的方式,启发学生掌握基本原理和知识。许多概念和方法,是通过众多例题使读者完成从感性到理性的认识过程。这样做,有利于引导学生树立学习信心,循习晓畅,因而求进。

三是注重应用。电路理论源于实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本书在讲述基本理论的同时,注重理论联系实际,也结合了作者的研究成果。我们在正文的例题和习题中,特意安排了许多工程实用的电路问题。让学生在理论和实际的结合上学到知识。

四是以多媒体 CAI 课件配合。为了指导学生自主学习,本书配有一套 CAI 光盘。目的是将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,吸引读者,深化认识,提高学习效果。课件的内容和使用方法见附录一。

学习是认识人文和自然中所蕴涵的“春风春鸟,秋月秋蝉”和谐之美的思维过程,也是培养学生科学素养和思考能力的艰苦过程。我国古代科学家徐光启

说过:“下学功夫,有理有事,此书为益,能令学理者祛其浮气、练其精心,学事者资其定法、发其巧思。”著名科学家李政道说:“求学问,需学问,只学答,非学问。”字字深刻,何等精妙!

本书内容是经过反复提炼、削枝强干而成的。可作为电气、电子、通信、自动化、电子科学与技术等专业本科生的“电路分析基础”(或电路分析、电路基础)课程的教材。书中打“*”号的内容可视不同专业选学。本书课内教学时数为76学时左右,实验应另行安排。

本书1~10章由燕庆明编写,周治平负责多媒体CAI课件的制作,晓荷负责习题的编写和解答。陆明达教授在百忙中审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,特致谢意。由于作者水平所限,书中恐有不当之处,敬请读者指正。

作 者

2002年12月

于江南大学

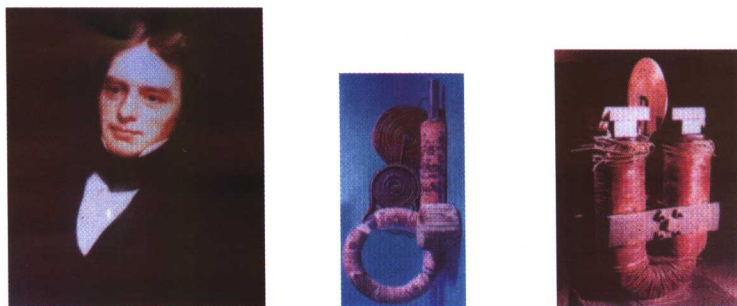


图 0-1 法拉第及其实验装置

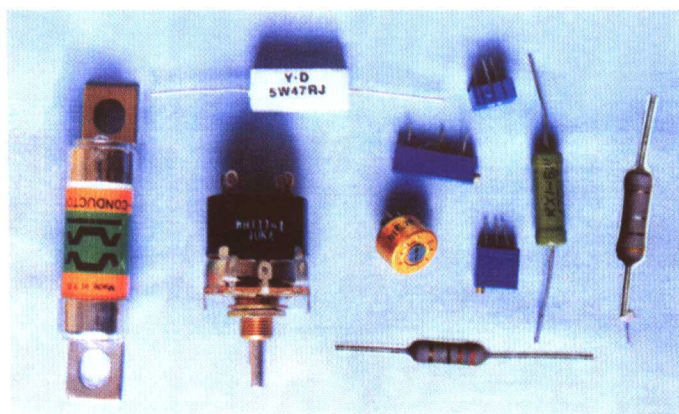


图 0-2 实际电阻器

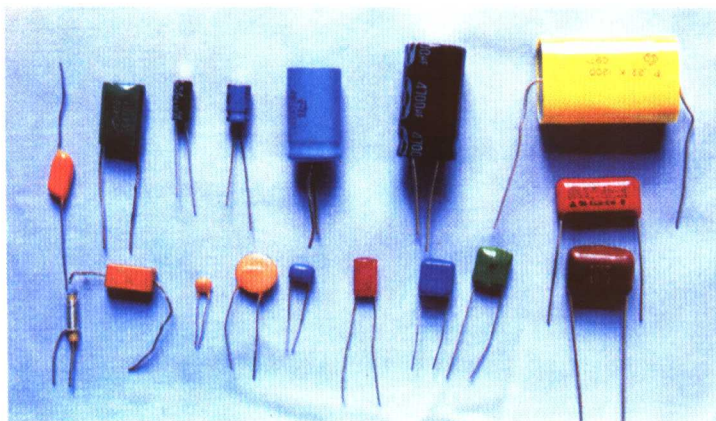
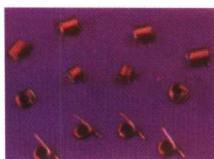


图 0-3 实际电容器



贴片型功率电感



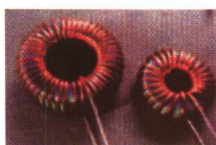
贴片型空芯线圈



可调式电感（中周）



RF 贴片电感



环型线圈



立式功率型电感

图 0-4 实际电感器

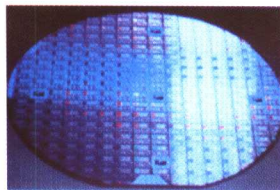


图 0-5 半导体晶体和集成电路晶片

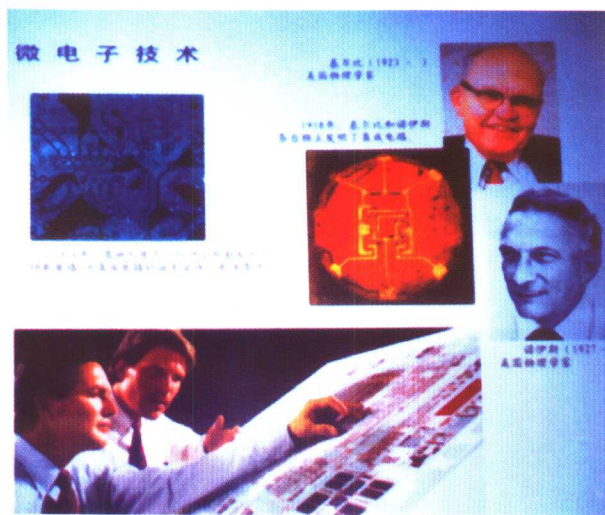


图 0-6 集成电路设计



图 0-7 电子信息技术的广泛应用

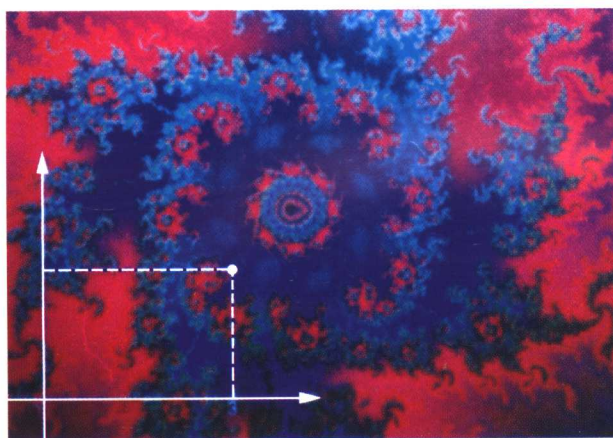


图 0-8 计算机根据非线性方程无数次重复解绘出的画面



图 0-9 利用非线性函数绘制的 IC 卡图案

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 电路理论发展简史	2
1.1.1 早期的理论发现	2
1.1.2 重要发明及其应用	4
1.2 电路、信号与系统	9
1.2.1 电路	9
1.2.2 信号	10
1.2.3 系统	11
1.3 电路分析课程的任务	12
第 2 章 基本概念	13
2.1 电路及其物理量	14
2.1.1 电路模型	14
2.1.2 电流与电压	15
2.1.3 功率与能量	17
2.2 基尔霍夫定律	19
2.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	19
2.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	20
2.3 电阻元件	21
2.3.1 电阻元件与欧姆定律	21
2.3.2 电阻的串联与并联	23
2.4 电源元件	28
2.4.1 电压源与电流源	28
2.4.2 实际电源的模型及等效	30
2.4.3 受控源	33
2.5 储能元件	36
2.5.1 电容元件	36
2.5.2 电感元件	40
2.5.3 电容与电感的等效	44
2.6 等效变换	47
2.6.1 从事实到结论	47

2.6.2 Y- Δ 等效变换	51
2.7 应用	55
2.7.1 电梯接近开关	55
2.7.2 直流电桥与热敏电阻应用	56
小结	57
习题	59
第3章 电路的分析方法	65
3.1 电路的拓扑图	66
3.2 支路电流法	71
3.2.1 KCL和KVL方程的独立性	71
3.2.2 支路电流法	72
3.3 网孔分析法	73
3.4 节点分析法	78
3.5 含运算放大器电路的分析	81
3.6 应用:电阻应变器检测电路	85
小结	86
习题	87
第4章 电路定理与应用	91
4.1 叠加定理	92
4.2 替代定理	96
4.3 等效电源定理	99
4.3.1 戴维宁定理	99
4.3.2 诺顿定理	102
4.4 最大功率传输定理	104
*4.5 特勒根定理	106
*4.6 互易定理	108
4.7 应用:D/A转换电路	110
小结	112
习题	113
第5章 正弦交流电路	117
5.1 正弦信号与相量	118
5.1.1 正弦信号	118
5.1.2 相量	121

5.2 电路的相量模型	125
5.2.1 KCL 和 KVL 的相量表示	125
5.2.2 基本元件的相量模型	125
5.3 阻抗与导纳	130
5.3.1 阻抗	130
5.3.2 导纳	134
5.4 相量分析的一般方法	140
5.4.1 网孔分析法	140
5.4.2 节点分析法	141
5.4.3 戴维宁等效法	143
5.5 正弦稳态电路的功率	145
5.5.1 平均功率	145
5.5.2 复功率	148
5.5.3 共轭匹配	151
5.6 耦合电感电路	154
5.6.1 耦合电感的端口方程	154
5.6.2 耦合电感的等效	157
5.7 变压器电路	162
5.7.1 全耦合变压器	162
5.7.2 理想变压器	164
5.8 三相电路	167
5.8.1 三相电源	168
5.8.2 三相电路的连接与计算	169
5.8.3 Y 形与 Δ 形负载的等效变换	173
5.9 应用	175
5.9.1 移相电路的应用	175
5.9.2 日光灯电路分析	176
5.9.3 双电容振荡器	177
小结	178
习题	180
第 6 章 选频电路与谐振	187
6.1 网络函数	188
6.1.1 网络函数与频率特性	188
6.1.2 波特图的概念	193
6.1.3 滤波器的概念	194
6.2 典型网络的频率特性	197

6.2.1 低通频率特性	197
6.2.2 高通频率特性	200
6.2.3 带通频率特性	201
6.2.4 带阻频率特性	204
6.3 多频信号的电路响应	206
6.3.1 周期性非正弦信号	206
6.3.2 多频信号的稳态响应	211
6.4 串联谐振电路	212
6.4.1 串联谐振	213
6.4.2 频率特性	216
6.5 并联谐振电路	219
6.5.1 并联谐振	219
6.5.2 频率特性	223
6.5.3 双电感和双电容并联谐振	224
6.6 应用	229
6.6.1 电子音乐信号的合成与选择	229
6.6.2 双音多频电话音调合成	229
6.6.3 低音音调控制电路	230
小结	232
习题	234
第7章 双口网络分析	237
7.1 双口网络的参数方程	238
7.1.1 Y 参数方程	239
7.1.2 Z 参数方程	241
7.1.3 H 参数方程	243
7.1.4 A 参数方程	245
7.2 网络函数与特性阻抗	249
7.2.1 策动点函数	249
7.2.2 转移函数	250
7.2.3 特性阻抗	253
7.3 双口网络的等效与组合	256
7.3.1 双口等效	256
7.3.2 双口网络的组合	259
7.4 应用	265
7.4.1 Π 形衰减器的设计	265
7.4.2 同轴电缆的应用	267

小结	268
习题	269
第 8 章 动态电路的瞬态分析	273
8.1 一阶电路:零输入响应	274
8.1.1 一阶电路与换路定律	274
8.1.2 零输入响应与时间常数	276
8.2 一阶电路:零状态响应	280
8.2.1 零状态响应的概念	280
8.2.2 阶跃函数与阶跃响应	284
8.2.3 线性与时不变性	286
8.3 一阶电路:三要素法	289
8.4 冲激函数与冲激响应	299
8.4.1 单位冲激函数	299
8.4.2 冲激响应	302
8.5 二阶电路与零输入响应	304
8.5.1 二阶电路方程	304
8.5.2 零输入响应	306
* 8.6 二阶电路的零状态响应	310
8.6.1 阶跃响应与冲激响应	310
8.6.2 算子方法	313
* 8.7 状态方程	318
8.8 应用	323
8.8.1 不失真分压器设计	323
8.8.2 定时器电路分析	327
8.8.3 汽车自动点火电路分析	328
小结	330
习题	331
第 9 章 非线性电路分析	338
9.1 非线性电阻元件	339
9.1.1 非线性电阻特性	339
9.1.2 非线性电阻串联	341
9.1.3 非线性电阻并联	342
9.2 直流分析与应用	343
9.2.1 直流工作点	343
* 9.2.2 数值方法	348

9.3 小信号分析	349
9.4 非线性动态电路	351
9.4.1 非线性电容与电感	351
9.4.2 非线性状态方程	354
*9.5 电路中的混沌现象	359
9.6 应用	362
9.6.1 简单的数字逻辑电路	362
9.6.2 非线性电路在自动生产线中的应用	363
9.6.3 全波整流滤波电路	363
小结	366
习题	366
*第10章 网络矩阵方程	370
10.1 网络矩阵	371
10.1.1 基本关联矩阵	371
10.1.2 基本割集矩阵	373
10.1.3 基本回路矩阵	375
10.2 特勒根定理的矩阵形式	377
10.3 矩阵分析法	380
10.3.1 矩阵节点方程	380
10.3.2 矩阵回路方程	383
小结	385
习题	386
全书回顾	389
附录	392
附录 A 部分国际单位制(SI)单位和(SI)词头	392
附录 B 实际电阻器和电容器的应用知识	393
部分习题答案	403
索引	411
参考文献	415