

电路分析与电子技术基础(I) ——电路原理

浙江大学电工电子基础教学中心 电路课程组 编
姚纓英 孙盾 李玉玲 主编

高等教育出版社

电路分析与电子技术基础(I)

——电路原理

浙江大学电工电子基础教学中心 电路课程组 编

姚纓英 孙盾 李玉玲 主编



高等教育出版社·北京

内容简介

本书将原“电路原理”“模拟电子技术基础”课程中的知识点,通过伏安特性和等效电路模型有机地融合在一起,突出工程背景与应用,强调基本原理与分析,按线性电路元件—电子电路元件—线性电路分析方法—稳态分析—暂态分析—非线性电路分析的脉络展述,并引入应用示例分析和基于 Matlab 的计算机辅助分析展示电路理论与工程实际相关联的结合点。

本书主要内容包括:电气电子电路的模型化,元件特性、参数及其等效电路模型,基本电路定律,线性电阻电路分析和定理,正弦稳态电路分析,谐振、互感与三相电路,非正弦稳态电路与频率响应,线性动态电路时域分析和复频域分析,非线性电阻电路等。附录电子器件基础介绍半导体基础知识、PN 结单向导电性、晶体管及其载流子的可控原理以及场效晶体管及其沟道控制原理。

本书内容符合教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会制定的教学基本要求,适合普通高等学校电子信息与电气类各专业使用,也可供相关工科专业高年级学生、研究生、教师以及有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与电子技术基础. I, 电路原理/浙江大学
电工电子基础教学中心电路课程组编;姚纓英,孙盾,
李玉玲主编.--北京:高等教育出版社,2018.10

ISBN 978-7-04-050678-5

I. ①电… II. ①浙… ②姚… ③孙… ④李… III.

①电路分析-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材③电路理论-高等学校-教材 IV. ①TM133②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 222250 号

策划编辑	王勇莉	责任编辑	王耀锋	封面设计	李树龙	版式设计	马敬茹
插图绘制	于博	责任校对	张薇	责任印制	尤静		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	廊坊十环印刷有限公司	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开本	787mm×960mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印张	31.75	版次	2018年10月第1版
字数	570千字	印次	2018年10月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	59.00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 50678-00

序 言

在工程科学技术学科群中,基于电磁理论及其应用,电气工程学科涵盖电力工程、电机电器与控制、电力电子工程、系统科学与控制等领域,是研究电磁现象和过程的客观规律及其应用的重要工程科学技术学科。

随着近代科学和工程技术日新月异的发展,百余年来,电气工程学科不仅在以电磁能量和信息的产生、传输与转换为核心的强电与弱电领域中日益展示其对社会生产、经济和民生可持续发展的重要支柱作用,而且在旁及军事、生态、医学、航天等众多领域中,与其他学科之间的相互交叉、渗透,进一步展示了电气工程学科所主导的工程科学技术日趋综合化、集成化和智能化的特征。其中,强、弱电技术的融合,超高电压与绝缘技术,高能量密度大型电磁装置的优化设计与制造,分立元件的电子电路向大规模集成电路的演变,模拟电子技术向数字电子技术的拓展,固定功能电子器件向可编程数字化硬件变迁等一系列近代工程科学技术成果,为电气工程学科的持续发展及其广阔应用奠定了坚实的基础。

近代科学和工程技术的迅猛发展,对我国高等工程教育提出了与时俱进地深化教学改革、立足于高素质创新型科技人才培养、不断完善高等工程教育质量的迫切需求。从而,在面向电气工程学科的电气信息类学生的电类基础课程建设中,如何基于电气工程学科所涵盖的工程科学技术综合化、集成化和智能化的特征,充分反映上述一系列近代电气工程科学技术的新进展、新成果,使学生在与时俱进的电类基础课程优化的知识体系中,获得电路与电子技术基础理论、分析方法、典型问题与工程应用问题分析、解算能力等全方位的学习和培养,已成为当今教学研究专题,以及急切需求的教学实践。

早在20世纪90年代,浙江大学即致力于探索电工电子系列基础课程的建设,曾经经历过电路与信号系统课程的整合、电路与电子技术课程的有效衔接,为了提高学生的动手能力,在实验课中引入EDA技术、焊接电路板、设计小系统等多项举措。2006年电气工程学院组建“爱迪生班”,尝试工程教育背景下的自主创新型人才的培养模式,按系统关联化的原则整合优化系列基础课程,在系列课程体系建设、自主创新能力培养方面进行了诸多实践。例如,探索性地将传统的课程体系“电路原理甲Ⅰ”“电路原理甲Ⅱ”“模拟电子技术基础”“数字电子技术基础”“电路原理实验甲Ⅰ”“电路原理实验甲Ⅱ”“模拟电子技术基础实

验”和“数字电子技术基础实验”共八门课程优化整合,使之更具有科学的教学体系,进而组成“电路电子技术基础(含实验)”“电路分析与模拟信号处理”“数字电路分析与设计(含实验)”“电网络分析(含实验)”“电测量技术与模拟电路实验”和“电气电子电路综合实验”共六门课程。这一课程体系经由爱迪生班的教学尝试而于2013年推广应用于涉电类相关专业(光电学院、控制学院、机械电子专业、海洋学院等),并形成“电路与模拟电子技术”“数字电路分析与设计(含实验)”“电路与模拟电子技术实验”三门课共计9.5学分的系列课程。

今在总结上述多年教学研究成果的基础上,编写出本系列教材——《电路分析与电子技术基础》(含三分册),涵盖了电路原理与电子技术基础前述相关课程教学的基本要求。第一分册主要介绍电路与电子技术的基本概念、基本理论与基本分析方法。第二分册侧重于模拟电子技术基础及其应用。第三分册侧重于数字电子技术基础及其应用。本系列教材体现了电类基础课程优化整合的教学改革发展新需求,在保证课程教学基本要求的前提下,可压缩电类基础课程的教学时数,提高后续课程的教学起点,为电子电气信息类高素质创新型科技人才培养的需求制备新的教学平台。

本系列教材在课程整合、内容更新、注重能力培养三个方面的主要特色可归结如下。

1. 体现工程教育背景

面向工程教育的电类基础课程的指导思想应是充分体现工程科学的系统性、先进性和前瞻性。以相关工程科学内涵为核心,以国际化的视野实践工程教育理念,即与时俱进地以电子电气信息类工程专业的知识基础和和培养需求为纲,构建课程体系,组织教学内容。

教材内涵不回避工程中电磁现象的复杂性,如非线性、非集总性、时变性,分析与综合、测试与设计等与工程实际紧密关联的内容,力求顺应以高能量密度化、综合化、集成化和智能化为标志的电气与信息工程科学技术发展的新需求。教材通过概述以及典型应用系统介绍相关应用领域与基础知识之间的关联;在各章中引入应用示例分析;在例题与练习中增加设计性内容;通过课程练习与跨课程练习将系列教材的内容相互衔接贯通;同时,部分基础实验内容与理论教学相互交融。

2. 构建电气工程专业知识体系所需的基础知识架构,课程的理论知识框架力求充分体现相关工程科学的系统性、先进性和前瞻性

电气工程专业知识体系由电磁能量和信息的获取、表达、传输、处理和系统实现与应用等方面的知识点构建而成。而承接专业知识体系需求的本基础课程系列教材内容应围绕专业规范、基础课程教学基本要求,体现其核心知识体系和

知识内涵,构建恰当的知识体系架构,使之能有效地引导学生自主获取新的知识。

3. 强化系统、抽象和模型化以及工程化处理方法

在强化系统、体现工程复杂性的基础上,聚焦于传授抽象、模型化的基本思想以及工程化处理方法。本系列教材以系统设计的角度展开电路分析,强调模块、功能、接口等概念。在理论课程中,通过综合练习以及设计性练习强化工程意识;在实践类课程中,通过基本实验、研究性实验、单元电路实验、综合设计性实验、创新性实验逐步引导学生在单元性实验与综合性设计实验相互关联和融合的实践基础上,获得完整系统级的设计体验。

4. 经典理论与现代技术有机结合

以当代科学技术最新成果审视和整合经典理论教学内容,充分利用现代信息技术的成果,将 EDA 设计工具全面引入教材和课堂教学,同时将 EDA 分析与设计的核心技术与电类基础课程教学的基本要求相结合,如以模型化原理、计算机辅助电路分析为主线,借助 Matlab 工具将线性、非线性分析、时域分析、频域分析、复频域分析的数值实现等前后贯通。

5. 注重知识体系的完整性,建设立体化教学辅助体系

本系列教材将原有多门相互独立的课程相互关联,内涵丰富,并与当今科技发展密切相关,不仅可作为研究型大学和综合型大学教学用书,也可作为广大工程技术人员的参考用书。为利于教学和使用,将逐步建设多媒体课件、教学辅导书、辅助性教学材料等教学资源。

本系列教材的策划得到浙江大学本科生院、工学部以及电气工程学院的大力支持,各专业教学主任、教学指导委员会、电类基础课程教学资深教师倪光正、王小海、郑家龙、叶挺秀、汪荣源、赵荣祥等教授以及电路与电子技术课程组各位同仁与编写组进行了深入研讨,并对体系架构和内容给予殷切指导和审定,提出了许多宝贵意见和建议,谨在此表示衷心感谢!

编写组将密切跟踪电子电气信息科学技术的发展以及国内产业界对人才培养的要求,保持教材的先进性和适用性。由于编者的水平所限,教材中存在的不足之处,敬请提出宝贵意见和建议。

编写组

2012年6月于浙江大学求是园

前 言

本书为《电路分析与电子技术基础》系列教材的第一分册,全书内容依据教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会制定的基础课程教学基本要求,将原“电路原理”“模拟电子技术基础”课程中的知识点有机地融合在一起,突出工程背景与应用,强调基本原理与分析,为使电气工程、自动化、电子信息、通信工程、控制工程、生物医学工程与仪器、光电信息、机电一体化、计算机等涉电类专业的学生深入掌握电路原理和电子技术方面的基本知识和概念,并能为后续电类课程或相关专业课程的学习奠定扎实的知识与能力基础。

“电”是电气工程学科的基石,而“电路原理”和“电子技术”正是开启该学科知识库的两门首要课程,也是面向电气信息类(兼含电子信息类)专业本科生必修的重要技术基础课。

分析电路原理和电子技术课程的教学内容可知,电路不仅是电流的通路,也是信息流的通路,其基本理论、分析方法是电系统特性的理论分析、电参数计算以及解决相关工程问题的依据和“源”,是基础理论和方法所在。而电子技术是由电子元器件组建而成的电路,因此如何用电路原理的分析方法和手段,来解释电子技术中的现象,分析和计算相关的“电”参数,使两门课程教学的相关知识点相融、交叉是本书编写的基本出发点。

承接序言关于本系列教材在课程整合、内容更新、注重能力培养诸方面的指导思想,本书进而聚焦于:

1. 构建凸显电路分析和电子技术基础相融的教学体系

作为技术基础课程,其基本理论、基本知识和基本技能将为后续课程、专业课程奠定基础,并为学生毕业后从事与电气和电子信息相关的工作、继续深造与创新实践奠定基础。本书按照现代教学和面向工程教育的应用需求,依据电路和电子技术两课程基础性的交叉融合,突出强电与弱电的结合;理论与工程实践的结合;基础知识与相关专业交叉、渗透的结合。作为电类基础课程,构建凸显其基础性的新知识体系和核心概念,汇编为本系列教材中的第一分册,以适应当前大类交叉人才培养的需要。

2. 面向工程教育,传承学科发展

立足于高素质创新型科技人才的培养目标,本书面向学科发展进程,贴近工

程应用背景,按科学的认识论,更新教材内容,致力于学生分析和解决工程问题能力的培养。教材在内容选取、提炼和展述中不仅强调分析计算方法,更注重为工程应用打好基础,强化概念和原理,强化分析推理和知识面的拓展。

本书由电路及其模型化,电路元件、信号和电路基本定律,电子电路器件及其电路模型,线性电阻电路分析方法和定理,线性动态电路的正弦稳态分析,非正弦信号与频率特性分析,线性动态电路的暂态分析,线性动态电路的复频域分析,非线性电阻电路分析共9章以及附录组成。

第1章基于电气工程领域科技进步和电路理论发展历程的回顾,一般性地描述电路理论的研究对象和研究方法。建立有关工程学的概念,如电路抽象(理想化)、建模(数学模型化)、国际单位制等。阐述分析电磁现象和过程的电路理论与电磁场理论之间的关联及其互异之特征。

第2章介绍电路理论中的基本概念和理论基础,强调电流、电压的参考方向及其含义,概述电路中各种信号的不同应用背景,揭示理想元件、实际器件、工程中选用元器件之间的内在联系与差异,为电路分析和计算奠定宽广而坚实的基础。

第3章介绍电子电路中的二极管、晶体管、场效晶体管以及集成运算放大器等器件的电特性及其参数,建立有关非线性、多端器件及其静态工作点的概念,并在伏安特性分段线性化的基础上基于伏安特性的等效建立电路模型。

第4章以模型和基本定律为基础,运用不同的数学方法,对不同类型电路的特性进行分析和综合。且基于第2章定义的电路基本变量、基本元件模型和基本定律,展述电路分析的基本方法和基本电路定理。

第5章介绍动态正弦稳态电路分析,由四部分组成。第一部分介绍正弦稳态电路分析的基本概念和方法,包括正弦交流电量的三要素、相量、相量模型、阻抗等概念,以及正弦交流电路的功率计算。第二部分介绍正弦交流电路中的特殊现象——谐振。第三部分围绕磁耦合现象讲述互感电动势与同名端、互感的电路模型、互感电路的计算方法,继而介绍各类变压器的电路模型。第四部分对三相交流电路进行介绍和分析。

第6章介绍非正弦周期信号的傅里叶级数分解和频谱,非正弦周期信号的有效值、平均值、平均功率等概念,讲述非正弦周期信号的稳态电路计算方法。再针对非正弦非周期信号,介绍傅里叶变换及其频谱的特点,并将傅里叶变换应用于非正弦电路分析,研究电路的频率特性和滤波器。本章是对直流和正弦交流电路分析的推广。

第7章介绍动态电路在换路过程中所产生的过渡过程现象。首先讨论一阶和二阶动态电路过渡过程的经典解法和直觉解法,然后介绍单位阶跃函数和单

位冲激函数激励下动态电路的暂态响应。在应用示例分析中,讨论了反相器的响应延迟、数字脉冲响应、半导体器件电路中的过渡过程以及电力电路中的过渡过程分析。

第8章利用拉普拉斯变换将线性网络的动态分析从时域变换到复频域(s 域),在进一步阐述域变换分析方法的基础上,重点介绍网络函数及其在分析网络稳定性、求其稳态响应、网络频率响应等方面的应用。并讨论动态电路在任意激励作用下零状态响应的卷积积分法,以及高阶动态电路暂态过程的状态变量法。

第9章介绍非线性电路的一般分析法,如图解法、分段线性化、方程法等,分别对含二端和三端非线性电阻元件电路的静态分析、小信号分析以及动态分析加以讲述。并以放大电路为例介绍模拟电子技术中性能分析时常用的处理方法。

附录介绍了半导体基础知识和PN结的工作原理和特性,晶体管结构及其载流子的可控原理,以及场效晶体管的类型、结构及其沟道的可控原理。

本书立意于将电路原理和模拟电子技术基础课程中的基本内容有机组合,全面展示电路与电子技术概貌后,按线性电路元件—电子电路元件—线性电路分析方法—稳态分析—暂态分析—非线性电路分析的脉络展述,以强化学生的工程意识,提升其专业学习的兴趣与热情。讲授内容的选择和顺序可以根据学时数以及前期课程基础灵活选配。例如,若有良好的电磁学基础,可以较深入地展述第1章中的电路模型化原理与结论,否则可以从第2章开始,将第1章中集总电路抽象、单位制等基本概念结合基本物理量加以讲述。第3章有助于全面理解元器件的复杂性,虽然仅需要充分理解伏安特性—伏安特性曲线—等效电路模型三者之间的关系,无需更多电路分析方法做支撑,但是涉及非线性伏安特性的等效化以及工作点,可以先讲授第4章的内容,在学生完全掌握线性电路的分析之后,再介绍电子电路器件及其电路模型。也可以与非线性电阻电路的分析相结合。

为应对知识点日益交叉拓展但课程学时数日益减少的矛盾,本书依据循序渐进、基本核心知识点前置、应用和综合性问题单列的方式编写,以便不同层次教学易于取材和使用,教材中标记星号(“*”)部分建议在学时足够的情况下选用。

本书定位和编写得益于倪光正教授、王小海教授的直接参与,郑家龙教授的指点,编写组反复讨论凝练编写大纲,并汲取了上一轮电路与模拟电子技术基础整合的相关成果。在承接原有教材的基础上,本书框架和内容编写几经修改,除具体执笔人外,范承志、王小海、孙盾、潘丽萍、童梅等众多教师在素材提供和初

稿编写等方面均做了很大贡献,目前各章主要执笔定稿人分别是:第1、3、7、9章由姚缨英编写,第2、8章以及5.4节由孙盾编写,第4、6章由李玉玲编写,第5.1节和5.2节由孙晖编写,第5.3节由范承志编写,附录由周箭编写,潘丽萍参与第3章编写。姚缨英负责全书统稿和协调。倪光正、郑家龙、王小海、张伯尧、范承志、孙盾等审阅了初稿,倪光正和范承志审阅了待定稿全文,并提出详细的修改意见。上海交通大学张峰教授细心审阅了本书,提出了宝贵的修改意见和建议。在此一并深表感谢。

本书可作为普通高等学校电子与电气信息类专业的基础教材,也可作为非电专业电工电子课程教材使用,并可供从事电子和电气工程专业的工程技术人员参考。

因水平所限,错漏之处在所难免,敬请读者指正。编者邮箱:yaoyyzju@126.com。

编 者

2018年3月

目 录

第 1 章 电路及其模型化	1
1.1 绪论	1
1.1.1 电路理论发展简介	1
1.1.2 电路理论的研究对象	3
1.2 电路抽象	7
1.2.1 集总元件与集总电路抽象原则	7
1.2.2 集总电路抽象的局限性	10
1.2.3 电路与电磁场间的关联关系	11
1.3 国际单位制	15
1.4 电路分析概述	16
1.4.1 电路模型化	16
1.4.2 电路分析与电路设计	17
第 2 章 电路元件、信号和电路基本定律	19
2.1 电路中的基本物理量	19
2.1.1 电流、电压及其参考方向	20
2.1.2 功率与能量	22
2.2 电路信号	25
2.2.1 信号及其分类	26
2.2.2 电路中常用的模拟信号	28
2.3 电路元件及其特性	34
2.3.1 电阻元件	35
2.3.2 电容元件	36
2.3.3 电感元件	37
2.3.4 独立电源	39
2.3.5 受控电源	41
2.3.6 多端网络和双口网络	43

2.4 基尔霍夫定律与拓扑约束	47
2.4.1 电路的拓扑结构	47
2.4.2 基尔霍夫定律	49
2.4.3 线性无关的 KCL 和 KVL 方程	53
2.5 基本电路器件及其电路模型	57
习题	64
第 3 章 电子电路器件及其电路模型	68
3.1 二极管	68
3.1.1 二极管的伏安特性	68
3.1.2 二极管特性参数与电路模型	70
3.1.3 其他类型的二极管	72
3.2 晶体管	77
3.2.1 晶体管特性曲线和主要参数	77
3.2.2 晶体管等效电路模型	82
3.3 场效晶体管	87
3.3.1 场效晶体管特性曲线和主要参数	87
3.3.2 场效晶体管等效电路模型	92
3.4 集成运算放大器	93
3.4.1 运算放大器及其外特性	93
3.4.2 运算放大器等效电路模型	94
习题	99
第 4 章 线性电阻电路分析方法和定理	106
4.1 等效变换法	106
4.1.1 等效电路定义及等效原则	106
4.1.2 无源电路的等效变换法	107
4.1.3 理想电源的串并联	111
4.1.4 实际电源间的等效变换	113
4.1.5 电源转移	116
4.1.6 输入电阻和输出电阻	117
4.2 电路分析法	120
4.2.1 支路电流法	120
4.2.2 回路电流法	123

4.2.3	节点电压法	130
4.3	电路定理	137
4.3.1	叠加定理	137
4.3.2	替代定理	141
4.3.3	戴维宁定理和诺顿定理	143
4.3.4	最大功率传输定理	151
4.3.5	特勒根定理与互易定理	155
4.3.6	对称性原理	161
4.3.7	密勒定理	164
4.4	应用示例——匹配和最大功率传输定理的拓展	167
	习题	168
第5章	线性动态电路的正弦稳态分析	178
5.1	正弦交流电路	178
5.1.1	正弦交流电量的描述	178
5.1.2	正弦交流电量的幅值、相位、角频率	178
5.1.3	正弦交流电量之间的相位差	179
5.1.4	正弦交流电量的相量表示	180
5.1.5	正弦交流电路中基本元件的相量模型	182
5.1.6	基尔霍夫定律的相量形式	185
5.1.7	正弦交流电路的阻抗、导纳及等效转换	187
5.1.8	正弦交流电路的功率计算	193
5.2	电路的谐振	199
5.2.1	RLC 串联谐振	199
5.2.2	RLC 并联谐振	201
5.2.3	串并联谐振	202
5.2.4	RLC 串联电路的频率特性	203
5.3	互感耦合电路	206
5.3.1	电磁耦合概念	206
5.3.2	互感电动势与同名端	209
5.3.3	电磁耦合电路计算特点	211
5.3.4	理想变压器	218
5.3.5	变压器的电路模型	221

5.3.6	互感应用示例——中间抽头变压器、无接触式电能传输	222
5.4	三相交流电路	228
5.4.1	三相交流电路概述	228
5.4.2	对称三相正弦交流电路分析	230
5.4.3	对称三相正弦交流电路功率测量	236
5.4.4	不对称三相电路简介	241
5.4.5	三相电路应用示例——鉴相器	244
	习题	245
第6章	非正弦信号与频率特性分析	254
6.1	非正弦周期信号分解	254
6.1.1	非正弦周期信号	254
6.1.2	非正弦周期函数的傅里叶级数分解	255
6.1.3	非正弦周期信号的有效值、平均值	264
6.1.4	非正弦周期信号的功率	266
6.2	非正弦周期信号电路的稳态分析	268
6.3	三相对称非正弦交流电路分析	272
6.4	非正弦信号的傅里叶变换	276
6.5	频率特性	280
6.6	滤波器	282
6.6.1	滤波器的功能与分类	282
6.6.2	无源滤波器	283
6.7	应用示例	291
6.7.1	整流滤波电路	291
6.7.2	谐波的危害和抑制	294
	习题	295
第7章	线性动态电路的暂态分析	299
7.1	电路过渡过程与换路定则	299
7.1.1	动态电路的过渡过程	299
7.1.2	动态电路方程	300
7.1.3	换路定则	304
7.2	一阶电路的时域分析法	308
7.2.1	RC 串联电路	308

7.2.2	RL 串联电路	311
7.3	全响应的分解	312
7.4	一阶电路的三要素法	314
7.5	二阶电路的响应	318
7.5.1	二阶电路的时域分析法	318
7.5.2	二阶电路的直觉分析法	325
7.6	单位阶跃响应和单位冲激响应	327
7.6.1	单位阶跃响应	327
7.6.2	单位冲激响应	329
7.7	应用示例	335
7.7.1	数字电路中的响应延迟	335
7.7.2	含半导体器件电路的过渡过程分析	339
7.7.3	振荡器的起振过程	341
	习题	343
第 8 章	线性动态电路的复频域分析	349
8.1	拉普拉斯变换	349
8.1.1	拉普拉斯变换的定义	349
8.1.2	基本函数的拉普拉斯变换	350
8.2	拉普拉斯变换的基本定理	352
8.3	拉普拉斯逆变换与部分分式展开	356
8.4	复频域(s 域)中的电路定律、电路元件及其模型	359
8.4.1	RLC 元件的 s 域模型	359
8.4.2	互感元件的 s 域模型	361
8.4.3	独立源与受控源的 s 域模型	362
8.5	线性动态电路的复频域分析	363
8.6	网络函数	369
8.6.1	网络函数的定义与形式	369
8.6.2	网络函数的求解与应用	371
8.7	网络函数的零极点分析	373
8.7.1	网络函数的零点与极点	373
8.7.2	网络函数的极点与冲激响应的关系	376
8.7.3	网络函数的零极点与电路频率响应的关系	378

8.8	网络函数与稳态响应的关系	385
8.8.1	利用网络函数求直流稳态响应	385
8.8.2	利用网络函数求正弦交流稳态响应	385
8.9	积分法	388
8.9.1	卷积积分法	389
8.9.2	叠加积分法	391
8.10	状态变量法	393
8.10.1	状态方程与输出方程	394
8.10.2	状态方程的列写方法	396
8.10.3	状态方程的 s 域求解方法	399
8.10.4	利用 Matlab 求解状态方程	401
8.11	应用示例——音调控制电路频率特性	402
	习题	405
第9章	非线性电阻电路分析	410
9.1	非线性电阻元件的特性及其分类	410
9.1.1	非线性电阻元件及其特性	410
9.1.2	非线性电阻元件的静态电阻和动态电阻	412
9.2	简单非线性电阻电路的分析	413
9.2.1	解析法	414
9.2.2	图解法	416
9.3	复杂非线性电阻电路分析	419
9.4	分段线性化方法	422
9.4.1	分段线性化特性的电路表示	422
9.4.2	含理想二极管电路的分析	427
9.4.3	折线方程法	429
9.4.4	分段线性迭代法	433
9.5	小信号分析	435
9.6	三端非线性电阻电路分析	440
9.6.1	晶体管电路的静态分析	440
9.6.2	晶体管放大电路的小信号分析	444
9.6.3	场效晶体管电路的静态分析	447
9.6.4	场效晶体管放大电路的小信号分析	449

习题	453
附录 电子器件基础	460
附 1 半导体与 PN 结	460
附 1.1 半导体	460
附 1.2 PN 结	461
附 2 晶体管及其载流子的可控原理	466
附 2.1 晶体管的基本结构	466
附 2.2 晶体管的内部载流子	467
附 2.3 晶体管的工作状态与电路组态	468
附 3 场效晶体管及其沟道控制原理	470
附 3.1 N 沟道增强型绝缘栅型场效晶体管	470
附 3.2 N 沟道耗尽型绝缘栅型场效晶体管	472
附 3.3 N 沟道结型场效晶体管	472
附 3.4 P 沟道场效晶体管	473
参考答案	474
参考文献	487