

普通高等教育“十五”国家级规划教材

通信电路原理

(第二版)

董在望 主编 董在望 陈雅琴 雷有华 肖华庭 编

高等教育出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

通信电路原理

第二版

董在望 主编

董在望 陈雅琴 雷有华 肖华庭 编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信电路原理/董在望主编:董在望,陈雅琴,雷有华,肖华庭编. —2版. —北京:高等教育出版社,2002.8
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-04-010643-4

I. 通... II. ①董...②陈...③雷...④肖...
III. 通信理论:电路理论—高等学校—教材
IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 049552 号

通信电路原理 第二版

董在望 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 1/16

印 张 35.75

字 数 670 000

版 次 1989 年 12 月第 1 版

2002 年 8 月第 2 版

印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷

定 价 40.50 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

内 容 提 要

本书是1989年高等教育出版社出版的“通信电路原理”的修订版。随着通信系统的集成化、数字化、移动化和多媒体化,对组成通信系统的电路提出了更高的要求。为反映这些变化,对第一版的内容进行了整合和增删。修订的基本思路是,拓宽电路内容的覆盖面,引进新电路技术,体现知识面宽和内容新;打破模拟和数字电路的界限,通过利用这两种类型电路实现通信系统中的不同功能,力图使读者对这两类电路形成一个完整概念;增加计算机辅助分析和设计内容,培养学生使用工具的能力。

全书共八章,包括绪论、滤波器、高频放大器、非线性电路及其分析方法、正弦波振荡器、调制与解调、锁相环路和频率合成技术。

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,包括了电子信息类专业“高频电子线路”、“非线性电子线路”等课程的主要内容,可作为相应课程的教材或参考书,也可供专业技术人员参考。

第二版前言

从1989年底《通信电路原理》第一版至今的12年里,通信作为电子信息时代的标志之一得到了迅速的发展,通信系统的理论、技术和电路发生了巨大的变化。通信系统的集成化、数字化、移动化和多媒体化,对组成通信系统的电路提出了更高的要求。在通信系统中,大量应用数字电路和数字信号处理技术,并且朝着软件与硬件相结合的方向发展。虽然许多模拟电路完成的功能不断被数字电路所取代,但模拟电路在通信系统中仍然占有重要地位,特别是它的性能往往成为通信系统的瓶颈。随着电子设计自动化程度的迅速提高和集成电路技术与工艺的迅速进步,电子系统已经进入片上系统的阶段,使用计算机辅助分析和设计工具分析和设计电路已经成为一种基本能力。鉴于以上情况,作为一门专业基础课程的教材,《通信电路原理》需要进行修订,以适应这种发展的状况和趋势。修订的基本思路是,拓宽电路内容的覆盖面,引进新电路技术,体现知识面宽和内容新;打破模拟和数字电路的界限,通过利用这两种类型电路实现通信系统中的不同功能,力图使读者对这两类电路形成一个完整概念;增加计算机辅助分析和设计内容,培养学生使用工具的能力。

《通信电路原理》是专业基础课的教材,修订时仍以此定位作为确定教材内容的依据。它在本科培养计划中的任务主要是介绍通信系统中将基带信号变换到适于信道传输的射频信号及其反变换过程所需要的主要功能电路的工作原理、分析方法和典型电路,包括滤波器、高频率小信号放大器和功率放大器、正弦波振荡器、频率变换电路、调制与解调电路、锁相环路与频率合成等,通常称这类电路为通信系统的前端电路。前端电路也在数字化的进程中,全数字下变频器已有产品并已广泛应用于广播和通信系统中,但工作在高频率(几十兆赫以上)的电路目前主要还是模拟电路,需要对这部分电路给以必要的介绍。另外,通过模拟电路说明功能电路的工作原理比较简单和直观,所以即使对已经可以用数字电路实现功能的电路,在本教材中仍然从其模拟电路实现入手,再说明数字电路实现的特点。

专业基础课应该在基础课和专业课之间起好衔接作用,在本教材中注意应用先修课程的内容,也注意介绍电路在系统中的作用,以增强与系统的联系。本教材中应用到先修课程的主要内容有:

1. 电路原理:各基本电路定律及其数学表达式,恒流源、恒压源基本特征;正弦电流、电压的复数、图形表示法; RLC 电路的谐振特性;互感、变压器的基本

特性,变压器同名端的概念与确定方法等。

2. 电子线路基础:放大器工作原理,直流偏置的作用与偏置电路元件设计方法;三种放大器组态,放大电路的反馈类型与元件参数计算;差分放大器的工作原理和性能分析;运放与基本集成电路的主要特性;PSpice 程序的应用等。

3. 逻辑设计与数字系统:数制与编码;组合与时序逻辑基本单元;A/D 转换和 D/A 转换的工作原理等。

4. 信号与系统:信号的分类与描述方法;傅氏变换及其在频谱分析中的应用;线性网络零极点分析方法;信号通过线性系统的不失真条件;抽样数据系统和 z 变换;MATLAB 程序的应用等。

此次修订对全书结构做了一些调整,第一版共十一章,第二版整合为八章。其中,绪论、正弦波振荡器、调制与解调、锁相环路和频率合成技术等章保留,主要是进行了内容的增删。其余各章重新组织成滤波器、高频放大器和非线性电路及其分析方法等三章。

第 1 章介绍通信系统的基本概念和信号传输的基本问题。现代通信系统的基带信号构成包括信源编码、复接和信道编码等复杂的处理过程,不属本教材的内容范围,这里侧重说明通信系统中从基带信号变换到适于信道传输的射频信号及其反变换处理过程的部分。本章内容包括:通信系统的组成,通信系统的基本特性,通信系统的信道,通信系统中的信号,通信系统中的发送和接收设备,信号通过线性系统和非线性系统,模拟电路、数字电路和抽样数据电路的联系和区别等。

第 2 章介绍滤波器。滤波器是通信系统中的重要功能电路,主要可以分为模拟与数字滤波器两大类。考虑到数字滤波器在数字信号处理课程中有专门介绍,本教材主要介绍模拟滤波器,它们广泛应用于通信系统的前端电路中。本章内容包括:滤波器的特性和分类,LC 串、并联谐振回路,一般 LC 滤波器和有源 RC 滤波器的分析与设计,声表面波滤波器,抽样数据滤波器和连续域到离散域的映射等。

第 3 章介绍高频放大器。内容包括:晶体管的高频参数,小信号高频放大器,自动增益控制(AGC)电路,有关电子元器件噪声产生的机理,噪声系数及计算方法,接收机的灵敏度,工作在线性状态的宽带功率放大器和功率合成与分配技术等。

第 4 章介绍非线性电路及其分析方法。第 2 和第 3 章介绍的是通信系统前端中的线性电路,它要求信号通过这些电路后不产生非线性失真,在设计这些电路时要避免或补偿元器件非线性特性的影响;但通信系统中还有许多重要功能需要利用元器件的非线性才能实现。例如,高效率功率放大、混频、振荡、调制与解调等。从本章开始介绍这些功能电路的特点,分析方法和典型电路。本章介

绍非线性电路的基本概念,非线性电路的分析方法,具体介绍高效率功率放大器、相乘器和混频器等电路。

第5章介绍正弦波振荡器。正弦振荡器是实现直流电源能量转换为正弦信号的电路,本章介绍正弦振荡的起振过程和起振、平衡、稳定条件,典型的正弦振荡器电路,引起振荡频率不稳定的原因及改善方法和特殊振荡现象等。

第6章介绍调制与解调。本章内容限于载波为正弦信号的调制与解调,介绍幅度调制信号的性质,实现幅度调制的方法和电路,实现幅度调制信号解调的方法和电路;介绍角度调制信号的性质,实现频率调制和相位调制的方法和电路,实现频率调制信号和相位调制信号解调的方法和电路等。考虑到正交调制与解调已经在通信系统中获得了广泛应用,在本章中专门设节,比较详细地介绍正交解调与调制的原理、实现和应用。从本章开始,实现所需功能的电路往往是一些基本单元电路的组合,如幅度调制与解调电路多数是相乘器与滤波器的组合,对先修课程中已经介绍过的单元电路这里仅用功能框图表示。

第7章介绍锁相环路。锁相环路不仅是通信系统中的重要功能电路,也广泛应用于其它领域。本章介绍锁相环路的基本工作原理和相位模型,环路的线性分析,一阶、二阶环路的跟踪特性、稳态相差、频率特性、稳定性、噪声特性,一阶、二阶环路的非线性分析,数字锁相环路,锁相环路的典型电路和应用,自动频率控制(AFC)电路等。

第8章介绍频率合成技术。本章介绍频率合成的原理与主要技术指标,直接频率合成法、锁相频率合成法和直接数字式频率合成技术以及典型频率合成器的电路等。考虑到直接数字频率合成技术获得了广泛的应用,在本章中对其工作原理和典型电路做了比较详细的介绍。

随着计算机辅助分析与设计工具的不断完善和普及,使用这些工具分析和设计电路,加深对电路工作原理、信号流通过程和元器件与电路参数对电路性能影响的了解等,已经成为一种必须具备的能力。在本教材的习题中,包括了一些使用计算机辅助分析与设计工具完成的内容,并在第7章锁相环路加入附录,介绍锁相环路宏模型及利用这些宏模型对锁相环路的分析结果,力图在重视使用工具和灵活使用工具方面起到一些引导作用。

作为大学本科教材,并非其所有内容都要在课内讲授。本教材涉及面比较宽,一方面是考虑有利于与专业课的衔接和拓宽读者的思路,另一方面是考虑给使用本教材的教师结合需要选择授课内容的灵活性。就我们对课程内容的认识和教学实际,将本书内容分为两类:基本内容和选读内容,并在目录中用(*)注明,供使用者参考。

本书除用于大学本科教材外,希望对有关人员的在职学习和研究与设计工作的参考起到一些作用。

本书第二版由董在望主编,在第一版的基础上,修订工作由雷有华、陈雅琴和董在望分别完成。第一、二、六章由董在望执笔,第三、四、五章由雷有华执笔,第七、八章由陈雅琴执笔,肖华庭参与了有关修订工作的讨论,对本书修订有重要的启发和帮助。

全书承北京理工大学罗伟雄教授审阅,对全书结构和具体内容提出许多修改意见,对保证书稿质量起了重要作用,作者表示衷心感谢。

本书于2002年被评为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

高等教育出版社一直关心本书的修订,各位编辑给予作者许多具体指导,为本书出版创造了良好的条件,在此表示衷心感谢。

限于作者水平,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者指正。

编 者

2002年4月于清华大学

第一版前言

本书是一本介绍现代通信系统中常用电子电路的工作原理和分析方法的教材。

随着新的元、器件的出现,集成电路设计和工艺技术的发展以及数字计算机的广泛应用,通信电路近年来发生了许多重要的变化,例如:

由于通信系统的工作频段已扩展到光波波段,因此通信电路除了有传统的集总参数电路、分布参数电路以外,又开始发展以光电子器件为基础的光通信电路。

由于集成电路具有体积小、功耗低、可靠性高、性能好以及易于使系统整机实现少调整和不调整等优点,通信电路正迅速向集成化方向发展。不仅集总参数电路正在迅速集成化,分布参数电路也在集成化,如处理微波信号的微波集成电路(MIC)和单片微波集成电路(MMIC)等。另外,光集成电路也在研制中。随着集成电路设计与工艺技术的进步,现在已有可能将一个电子系统或其子系统集成在一个芯片上,称为系统集成。它改变了用通用元、器件组装电子系统的传统方法,而直接将系统制作在芯片上,从而大大促进了系统、电路与工艺的结合。

由于数字集成电路的集成规模远大于模拟集成电路,且具有易于与数字计算机联用以及良好的电性能等优点,因此,随着数字信号处理技术的发展,通信系统愈来愈广泛地应用数字电路和数字信号处理技术。一些原由模拟电路实现的功能,也有改用数字电路实现的趋势,如锁相环电路、调频、调相解调器等。

电子电路课程的教学内容应该与通信电路近年来的发展相适应。在编写本书时,编者力图反映这些变化。另一方面,考虑到本书是属于专业基础课程的教材,所涉及的内容应该是通信电路的基本内容,尽管目前通信系统已广泛应用集成电路,但在基本电路技术方面仍是以分立电路为基础,而且为了合理地设计集成电路,适应不断出现的各种新电路形式,仍需重视基本分立电路技术。因此在编写本书时,注意了以下几个方面:

1. 侧重于通信电路的基本工作原理与概念。如频率选择、噪声、非线性电路的一般特性、振荡、调制与解调、参量电路以及反馈控制电路等。

2. 引入了一些在现代通信系统中已较为广泛应用的电路技术及其分析方法。例如锁相技术、频率合成技术、用数字信号处理技术实现模拟电路功能等。后者由于篇幅所限,仅介绍一种数字式调频解调器,以便读者形成具体的概念。

3. 本书以介绍通信系统中使用的模拟集成电路为主。对目前仍然使用的分立元件电路,也做必要的介绍。由于目前用于通信系统中的模拟集成电路种类很多,而且多数有很强的专用性,本书只能选择一些典型电路加以说明,并注意对组成它们的基本单元做较详细的讨论。为了帮助读者对实际集成电路有所了解,在本书附录中还介绍了单片收音机和数字锁相频率合成器的电路构成及工作特点。

在对电路的讨论中,侧重于工作原理的说明,较少涉及设计问题。而对实际电路的特性,则或者给出测试数据,或者给出计算机辅助分析的结果。

4. 本书讨论的电路主要在 100 MHz 频率范围内使用,但有些电路在某些方面做适当改进后,也可应用于更高的频率。

全书共分十一章。

第一章介绍通信系统的基本概念和信号传输的基本问题。并对通信电路的分类做了概括的叙述。本章有两个附录:开关电容电路工作原理和 A/D 与 D/A 转换的基本知识。这是考虑到开关电容电路已开始在通信系统中应用和 A/D 与 D/A 转换的应用日趋广泛的现状,为读者提供有关的基本概念。

第二章介绍通信电路中的无源和有源阻抗变换和选频电路。其中有些内容已在其它课程中有所阐述,本章内容可以看做是复习与补充。但这些内容是十分重要的。

第三章讨论了噪声的来源。从随机噪声的功率谱结构得出白噪声的基本特性以及噪声功率运算、噪声系数和噪声温度的定义、计算方法及在通信系统中的应用等。关于随机噪声的概率分布特性则留待后续课程讨论。

第四章至第六章介绍了非线性电路的基本概念及一般分析方法;参变电路的工作原理及其特例——时变参量线性电路;模拟相乘器的工作原理,主要特性及典型电路。这几章所讨论的各种基本电路,一方面作为独立的频率变换电路而被广泛应用,另一方面又是构成其它功能电路的基础,为后面各章做准备。

第七章介绍功率变换电路的工作原理,包括线性功率放大原理、线性功放和谐振功放的电路构成、提高功放效率的基本设想、高频宽频带功率放大、功率合成和功率分配的原理与主要电路。

第八章深入讨论了各种正弦振荡器,包括晶体振荡器的工作原理及其电路构成。电路分析着重于电路元件对振荡特性的影响。

第九章介绍调制与解调原理及电路。主要讨论了模拟信号的调幅和调频以及数字信号的调相。

第十章讨论了锁相环路的线性与非线性特性及其分析方法,并简单介绍了数字锁相环路的基本知识。

第十一章介绍了频率合成原理及常见的频率合成制式,包括几种锁相频率

合成器的构成与工作特点。

各章后附有习题,帮助读者理解各章的主要内容并培养读者综合应用已学过的知识去独立分析问题。

本书可作为无线电技术与信息系统专业及其它相近专业大学本科教材或教学参考书。

在制定本书大纲时,我校常迥教授和吴佑寿教授对全书结构、内容选取提过许多有益的建议。而本书的编写更得到陆大维教授的悉心指导,他认真审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见,并对其中一些章节做了重要的增删。在大纲确定和编写过程中,还得到我系尹达衡副教授、姚彦副教授及线路与系统教研组其他同志的热情帮助,在此表示衷心的感谢。

上海交通大学宋文涛教授主审了全书,并提出了许多宝贵的意见,在此深表谢意。

限于编者的水平,书中难免有不妥与错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1988年10月于清华大学无线电电子学系



主 编 简 介

董在望，1937年10月出生于河北省，1960年7月清华大学无线电电子学系（现为电子工程系）通信专业本科毕业，遂留校工作至今。现为清华大学电子工程系教授，博士生导师。曾任教育部电工课程教学指导委员会副主任、电子技术与线路课程教学指导小组组长。

主要著作：主编《模拟集成电路原理与系统》和《通信电路原理》教材。

主要从事音频信号的压缩编码与处理、数据信号的无线传输技术和专用集成电路设计等研究工作。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 通信系统的基本概念	(1)
1.1.1 通信系统的组成	(1)
1.1.2 通信系统的基本特性	(2)
1.1.3 通信系统的信道	(2)
1.1.4 通信系统中的信号	(8)
1.1.5 通信系统中的发送与接收设备	(10)
1.2 信号传输的基本问题	(13)
1.2.1 信号通过线性系统	(13)
1.2.2 信号通过非线性系统	(16)
1.2.3 干扰	(17)
1.3 通信电路的基本形式	(18)
1.4 关于本书的内容	(22)
1.4.1 关于信号变换的理论和技術	(22)
1.4.2 关于电路	(23)
第 2 章 滤波器	(24)
2.1 引言	(24)
2.2 滤波器的特性和分类	(25)
2.2.1 滤波器的特性	(25)
2.2.2 滤波器的分类	(28)
2.3 LC 滤波器	(29)
2.3.1 LC 串、并联谐振回路	(30)
2.3.2 一般 LC 滤波器	(36)
2.4 声表面波滤波器	(50)
2.5 有源 RC 滤波器	(54)
2.5.1 构成有源 RC 滤波器的单元电路	(54)
2.5.2 运算仿真法实现有源 RC 滤波器	(57)
2.5.3 级联法实现有源 RC 滤波器(*)	(60)
2.5.4 自动校正有源 RC 滤波器(*)	(64)
2.6 抽样数据滤波器(*)	(66)
2.6.1 抽样数据单元电路	(67)
2.6.2 抽样数据滤波器	(80)
2.6.3 连续域到离散域的映射	(82)

2.7 小结	(88)
习题	(89)
第 3 章 高频放大器	(92)
3.1 引言	(92)
3.2 晶体管的高频小信号等效电路和参数	(93)
3.2.1 双极型晶体管混合 π 型等效电路和参数	(93)
3.2.2 场效应管的等效电路和参数	(96)
3.2.3 晶体管的 y 参数等效电路	(99)
3.3 高频小信号宽带放大器	(100)
3.3.1 概述	(100)
3.3.2 共发射极放大器	(101)
3.3.3 共基极放大器	(103)
3.3.4 共发-共基级联电路	(104)
3.3.5 场效应管高频小信号放大器	(105)
3.3.6 展宽频带的措施(*)	(106)
3.3.7 自动增益控制(AGC)电路	(109)
3.4 放大器的噪声	(114)
3.4.1 电阻的热噪声	(115)
3.4.2 电子器件的噪声	(123)
3.4.3 噪声系数	(127)
3.4.4 接收机的灵敏度与最小可检测信号	(131)
3.4.5 噪声温度	(132)
3.4.6 低噪声放大器(*)	(134)
3.5 宽带功率放大器(*)	(141)
3.5.1 A 类功率放大器的基本电路特性	(141)
3.5.2 B 类与 AB 类功率放大器	(144)
3.5.3 传输线变压器	(149)
3.5.4 宽频带放大器晶体管工作状态的选择	(158)
3.5.5 功率的合成与分配	(159)
3.6 小结	(170)
习题	(171)
第 4 章 非线性电路及其分析方法	(177)
4.1 引言	(177)
4.2 非线性电路的基本概念与非线性元件	(178)
4.2.1 非线性电路的基本概念	(178)
4.2.2 非线性元件	(179)
4.3 非线性电路的分析方法	(184)
4.3.1 非线性电路与线性电路分析方法的异同点	(185)

4.3.2 非线性电阻电路的近似解析分析	(187)
4.3.3 非线性动态电路分析简介(*)	(197)
4.4 非线性电路的应用举例	(201)
4.4.1 C类谐振功率放大器	(201)
4.4.2 D类和E类功率放大器(*)	(206)
4.4.3 倍频器	(210)
4.4.4 模拟相乘器	(212)
4.4.5 时变参量电路与变频器	(229)
4.5 小结	(246)
附录 余弦脉冲系数表	(247)
习题	(249)
第5章 正弦波振荡器	(256)
5.1 引言	(256)
5.2 LC振荡器的基本工作原理	(257)
5.2.1 LC回路的自由振荡现象	(257)
5.2.2 振荡特性与振荡条件	(260)
5.2.3 自给偏置对振荡状态的影响	(267)
5.3 LC振荡器的电路分析	(269)
5.3.1 LC振荡器的基本构成	(269)
5.3.2 三点式振荡器	(270)
5.4 振荡器的频率稳定度	(275)
5.4.1 频率稳定度的计量	(275)
5.4.2 导致振荡频率不稳定的原因	(276)
5.4.3 主要稳频措施	(277)
5.5 晶体振荡器	(280)
5.5.1 石英谐振器的基本特性	(280)
5.5.2 晶体振荡电路	(285)
5.6 负阻振荡器(*)	(289)
5.6.1 负阻器件的基本特性	(290)
5.6.2 负阻振荡电路	(291)
5.7 RC振荡器与开关电容振荡器(*)	(294)
5.7.1 RC正弦波振荡器	(294)
5.7.2 开关电容振荡器	(299)
5.8 特殊振荡现象(*)	(300)
5.8.1 间歇振荡现象	(300)
5.8.2 频率占据现象	(303)
5.8.3 寄生振荡现象	(305)
5.9 小结	(307)

习题	(307)
第6章 调制与解调	(318)
6.1 引言	(318)
6.2 幅度调制	(319)
6.2.1 标准幅度调制	(320)
6.2.2 抑制载波调幅、单边带调幅和残留边带调幅	(335)
6.2.3 正交幅度调制与解调	(347)
6.2.4 数字信号调幅	(362)
6.3 角度调制	(365)
6.3.1 角度调制的基本概念	(365)
6.3.2 频率调制信号的性质	(370)
6.3.3 实现频率调制的方法与电路	(377)
6.3.4 调频波的解调方法与电路	(382)
6.3.5 数字信号的相位调制	(401)
6.4 小结	(407)
习题	(409)
第7章 锁相环路	(414)
7.1 引言	(414)
7.2 PLL 基本原理	(415)
7.2.1 PLL 的组成与数学表示式	(415)
7.2.2 PLL 的环路方程与相位模型	(420)
7.3 PLL 的线性分析	(424)
7.3.1 PLL 的线性模型与传递函数	(424)
7.3.2 PLL 的跟踪特性	(427)
7.3.3 PLL 的稳态相差	(431)
7.3.4 PLL 的频率特性	(433)
7.3.5 PLL 的稳定性(*)	(436)
7.3.6 PLL 的噪声特性(*)	(438)
7.4 PLL 的非线性分析	(439)
7.4.1 一阶环路的非线性特性	(440)
7.4.2 二阶环路的非线性特性	(445)
7.5 集成 PLL 主要部件	(447)
7.5.1 集成鉴相器	(447)
7.5.2 集成压控振荡器	(451)
7.6 PLL 电路实例与应用举例(*)	(456)
7.6.1 PLL 电路实例	(456)
7.6.2 PLL 应用举例	(463)
7.7 数字锁相环路(*)	(464)

7.7.1 数字锁相环路的基本部件	(465)
7.7.2 数字锁相环路的工作过程	(470)
7.7.3 数字锁相环路的基本方程及模型	(472)
7.8 自动频率控制(AFC)电路	(473)
7.8.1 AFC电路的组成	(473)
7.8.2 AFC电路的基本特性	(474)
7.8.3 AFC电路应用举例(*)	(478)
7.9 小结	(480)
习题	(483)
附录 集成锁相环路宏模型(*)	(485)
第8章 频率合成技术	(502)
8.1 引言	(502)
8.2 频率合成器主要特性	(503)
8.2.1 频率合成器的主要技术指标	(503)
8.2.2 相位噪声	(505)
8.3 直接频率合成法	(508)
8.4 锁相频率合成法	(511)
8.4.1 锁相频率合成器的基本构成	(511)
8.4.2 锁相频率合成器方案设计中的一些考虑(*)	(513)
8.4.3 锁相频率合成器的实际构成方案(*)	(515)
8.5 直接数字频率合成	(519)
8.5.1 直接数字频率合成(DDS)的基本原理	(519)
8.5.2 直接数字频率合成技术	(522)
8.5.3 直接数字频率合成器性能以及方案设计中的一些考虑(*)	(524)
8.5.4 DDS/PLL组合式频率合成器(*)	(528)
8.6 频率合成器集成电路(*)	(529)
8.6.1 通用集成锁相环频率合成器	(530)
8.6.2 吞脉冲集成锁相频率合成器	(531)
8.6.3 直接数字频率合成器专用芯片	(536)
8.7 小结	(538)
习题	(540)
名词索引	(543)
参考文献	(550)

注:带(*)者为作者建议可列为选读内容的部分