

IT 先锋系列丛书

通信接收机: DSP、软件无线电和设计 (第三版)

COMMUNICATIONS RECEIVERS
DSP, SOFTWARE RADIOS, AND DESIGN
THIRD EDITION

Ulrich L. Rohde 著
Jerry C. Whitaker 著
王文桂 肖晓劲 等 译

**Mc
Graw
Hill** Education

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

IT 先锋系列丛书

通信接收机： DSP、软件无线电和设计 (第三版)

Ulrich L. Rohde¹ Jerry C. Whitaker² 著

人民邮电出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

通信接收机: DSP、软件无线电和设计 (第三版) / () 罗德 (Rohde, U. L.); () 惠特克 (Whitaker, J. C.) 著; 王文桂等译. 北京: 人民邮电出版社, 2003.3

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-10845-5

I. 通... II. ①罗... ②惠... ③王... III. 通信接收机—设计 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 006794 号

IT 先锋系列丛书

通信接收机: DSP、软件无线电和设计 (第三版)

◆ 著 Ulrich L.Rohde Jerry C.Whitaker

译 王文桂 肖晓劲 等

责任编辑 杨 凌

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129258

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 37.25

字数: 813 千字

2003 年 3 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2003 年 3 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记 图字: 01-2001-3983 号

ISBN 7-115-10845-5/TN · 1978

定价: 62.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

版 权 声 明

Ulrich L. Rohde, Jerry C. Whitaker

Communications Receivers: DSP, Software Radios, and Design (3rd edition)

ISBN: 0-07-136121-9

Copyright © 2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Posts & Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2001-3983 号

内 容 提 要

本书从无线电通信技术基础入手,介绍了有关通信接收机的原理和特性,并以此为基础重点阐述了有关接收机设计的内容。本书用详实的内容、大量的公式、示例以及表格把接收机设计基础的内容完整而细致的展现在读者面前。而且,为了适应新技术的发展,这次的第三版除了对原有内容进行了大量更新,提供了许多有关最新技术以及数字技术的信息之外,还保留了接收机设计的基本原理。

全书共分为 10 章,分别详细介绍了无线电通信系统、无线传输、噪声、数字信号处理以及调制理论和技术的基本知识,无线电接收机的重要特性,接收机系统规划,天线和天线匹配,放大器设计和增益控制技术,各种类型的混频器,本地振荡器频率控制,解调器技术和解调器设计,典型无线电接收机所需的辅助和专用电路,现代接收机的设计趋势等,并在每章最后都给出了详细信息的参考资料。

本书提供了大量的示例,可供接收机设计人员和操作人员在实际工作中进行参考,是他们在相关工作中解决问题的首选参考工具书。

作者介绍

Ulrich L. Rohde (SM、IEEE, 1973 年以来), 曾就读于德国 Munich 和 Darmstadt 大学, 学习电气工程和无线电通信, 1978 年获得了电气工程的哲学博士, 并在 1979 年荣获无线电通信的理科博士。

Rohde 博士是 Communications Consulting 公司的总裁、宾西法尼亚州匹兹堡市 Ansoft Corporation for Strategic Planning 的执行副总裁(在该公司成功与 Compact Software 公司合并后)、新泽西州帕特森市(Paterson)的 Synergy Microwave 公司的主席, 并且是德国慕尼黑 Rohde & Schwarz (一家专业测试和无线电通信系统跨国公司)的合作伙伴。以前, 他曾出任新泽西州帕特森市 Compact Software 公司的总裁、新泽西州康登市(Camden)的 Radio Systems of RCA, Government Systems Division 的商务区董事, 负责实现用于军事安全和自适应通信的通信方法。

1998 年 10 月 1 日, 他被英格兰 Bradford 大学聘为电子和微波工程的荣誉客座教授。1997 年 10 月 1 日, 被 Grosswardein 大学授予 Doctor Honoris Causa 荣誉学位, 并于同年 11 月 5 日, 由 Klausenburg 工业大学授予 Doctor Honoris Causa 荣誉学位。这些学位的授予都是基于他在微波 CAD 领域的杰出成就以及合成器理论方面的研究成果。1999 年 4 月, 他的使用 Network Analyzer (网络分析仪) 测量测试中设备 (DUT) 的一个和/或多端口参数的方法被批准为德国专利, 专利号为 19606986。1997 年 7 月, 他在锁相环和压控振荡器电路方面的成果被批准为美国专利, 专利号为 5, 650, 754。1997 年 5 月, 他被罗马尼亚的 Oradea 大学聘为电子工程和微波技术的教授。1990 年至 1992 年期间, Rohde 被分别授予 New Jersey Institute of Technology (新泽西技术协会) 和新泽西州 Newark 的电子工程系的客座研究教授, 他在 1982 年还曾是乔治·华盛顿大学 (George Washington University) 的助理教授, 任教于电子工程和计算机科学系, 并就有关通信理论和数字频率合成器技术进行了多次演讲。另外, 1977 年, 在作为佛罗里达大学 (University of Florida)、Gainesville 大学的电子工程教授时, 他曾讲授无线电通信课程。

Rohde 已在专业期刊上发表了 60 多篇科学论文, 最近出版的 6 本著作是: *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications* (与 David P. Newkirk 合作), 由 John Wiley & Sons, Inc. 于 2000 年 4 月出版; *Microwave and Wireless Synthesizers: Theory and Design*, 由 John Wiley & Sons 于 1997 年 8 月出版; *Communications Receivers, 2nd Edition* (与 Jerry Whitaker 和 T. T. N. Bucher 合作), 由 McGraw-Hill 于 1997 年 1 月出版; *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques* (与 George Vendelin 和 Anthony M. Pavio 合作), 由 John Wiley & Sons, N.Y. 于 1990 年 1 月出版; *Communications Receivers: Principles and Design*, 由

HAC 6/7/2

McGraw-Hill 于 1987 年出版; *Digital PLL Frequency Synthesizers: Theory and Design*, 由 Prentice-Hall 于 1983 年出版; *Transistoren bei hoechsten Frequenzen*(关于微波晶体管的内容), 于 1965 年在德国出版。

Jerry C. Whitaker 是加州 Morgan Hill 的技术书籍的撰写者, 在那里他开办了 Technical Press 咨询公司。Whitaker 已在通信行业的多个领域从事研究超过了 25 年。他是广播工程师协会 (Society of Broadcast Engineers) 的成员、SBE 认证的专业广播工程师, 而且还是活动图像与电视工程师协会 (Society of Motion Picture and Television Engineers) 的成员及电气与电子工程师 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 的成员。Whitaker 编写了大量关于电子系统安装和维护论题方面的著作。

Whitaker 曾担任 *Broadcast Engineering* 和 *Video Systems* 杂志的主编和联合发行人。他还担任过广播站总工程师和 TV 新闻制片人。

Whitaker 参与编写了很多书籍, 包括:

- *Standard Handbook of Video and Television Engineering* (第二版) 的主编, 2000 年由 McGraw-Hill 出版。

- *Television Engineers' Field Manual* 的编辑, 2000 年由 McGraw-Hill 出版。

- *Video Display Engineering*, 2000 年由 McGraw-Hill 出版。

- *DTV: The Revolution in Electronic Imaging* (第二版), 1998 年由 McGraw-Hill 出版。

- *NAB Engineering Handbook* (第九版) 的主编, 1998 年由 National Association of Broadcasters 出版。

- *The Electronics Handbook* 的总编, 1996 年由 CRC Press 出版。

- *Power Vacuum Tubes Handbook* (第二版), 1999 年由 CRC Press 出版。

- *AC Power Systems* (第二版), 1998 年由 CRC Press 出版。

- *Electronic Displays: Technology, Design, and Applications*, 1994 年由 McGraw-Hill 出版。

- 合著了 *Interconnecting Electronic Systems*, 1992 年由 CRC Press 出版。

- 合编了 *Information Age Dictionary*, 1992 年由 Intertec/Bellcore 出版。

- *Maintaining Electronic Systems*, 1991 年由 CRC Press 出版。

- *Radio Frequency Transmission Systems: Design and Operation*, 1990 年由 McGraw-Hill 出版。

- 合著了 *Television and Audio Handbook for Technicians and Engineers*, 1990 年由 McGraw-Hill 出版。

由于 Whitaker 的出色工作, Association of Business Publishers 两次颁发了奖励证书, 并被 Society of Broadcast Engineers 授予 *Educator of the Year*。

译者序

作为通信技术的重要组成部分，扩频技术及其相关技术得到了长足的发展。DSP 技术的发展为通信开辟了新的发展空间，它使复杂且安全的无线电系统的价格能为大众所承受，并协同利用 PC 的计算机辅助设计一起对通信接收机产生了重要影响。在这个基础上无线电接收机在设计上发生了重大的变化。基于此，我们认为《通信接收机：DSP、软件无线电和设计（第三版）》中文版的适时出版是非常重要的。

本书第三版的推出是在前两版的基础之上对原有内容进行较大幅度的更新，同时列举了大量最新的公式、示例及图表，为接收机设计人员及时提供足够多的有用信息。计算机辅助设计和仿真的广泛使用大大减轻了接收机设计过程中对人工计算和电路板实验的依赖，设计方法的改变已经不再是秘密了，本书中介绍的多种软件工具都可以应用于电路综合及其认证。

本书从无线电通信系统、无线传输、噪声、数字信号处理以及调制理论和技术的基本知识入手，介绍了有关通信接收机的原理、特性、系统规划以及各个组成部分的具体原理，并以此为基础阐述有关无线电接收机设计的内容。而且，为了适应新技术的发展，这次的第三版除了对原有内容进行了大量更新、提供了许多有关最新技术以及数字技术的信息之外，还保留了接收机设计的基本原理，并在每章最后都给出了详细信息的参考资料，为广大无线电设计者和爱好者提供了广泛的参考空间。希望《通信接收机：DSP、软件无线电和设计（第三版）》能够对广大从事接收机设计和爱好这方面内容的读者有所帮助。

本书的翻译工作由王文桂和肖晓劲同志完成，书中难免有疏漏之处，敬请读者予以指正。

前 言

在高性能微处理器的带动下, 数字信号处理设备使通信技术大为改观。先进的设备可以对模拟信号进行数字化处理, 明显减少(甚至不再需要)电路调准以及调整过程。数字技术已用于从频率合成器到解调器的许多电子设备中。奇怪的是, 随着数字技术的不断发展, 其中一个开发领域就是在单片上设计和制造混合模拟—数字电路。显然, 对于一些功能而言, 模拟技术仍然占优势地位。

技术的发展允许在带宽限制内, 生成任意数字波形。因此, 可以分别将先进的波形与调制方案、MSK 的衍生形式与 PSK 相结合, 以提供可靠的点对点通信, 而费用只是几年前专用系统的一小部分。这些通信方式具有灵活性和自适应性。因此, 无线电系统有能力进行信道质量分析, 并通过链路分析来确定所需的发射机功率。由于可对分配的信道进行探测, 所以为了进行可靠的通信, 避免干扰并确定最佳可用频率是可行的。

许多通信链路可以交换模拟和数字话音信号及数据。消息中的冗余和前向纠错技术提高了可靠性, 并且对于防止干扰及人为干扰来说是必不可少的。扩频技术可以将相关方法用于检测。通过该技术, 可进行低于常规系统的信噪(密度)比的操作, 以降低可检测性; 而另一方面, 这种信号处理扩展了接收的干扰频谱, 因此, 这些系统比其他系统更抗干扰。

随着这些技术以及其他技术的开发, 无线电接收机在设计上已发生了重大变化。由于这个原因, 我们认为出版《通信接收机: DSP、软件无线电和设计(第三版)》是很重要的。该书包括有关接收机设计基础的详细内容、大量公式、示例和表格。编写第三版时, 我们保留了接收机设计的基本原理, 同时又提供了一些有关当前技术以及新兴的数字技术的信息。

数字信号处理以及利用 PC 机的计算机辅助设计对通信接收机产生了重要影响。在开发软件无线电的商业公司和为业余无线电爱好者建立无线电接收装置的公司之间进行着很有趣的竞争。在软件无线电中, 模拟级尽可能地接近天线。通过早期对该领域所进行的研究, 人们发现经过必要的 DSP 处理后, 也同时可用于提高中频的选择性。很多现代系统不仅具有短时延的良好选择性, 同时还具有陷波、拍音消除、DSP 静噪及可调静噪等功能。当前的无线电设备甚至可包含自适应带宽选择。在频率合成领域中, 可以使用带有 N 个功能分区的存储芯片, 从而可以改进性能并扩展功能集。

设计方法的改变已不再是秘密了。计算机辅助设计和仿真的广泛使用大大减少了工程师对人工计算和冗长的电路板实验的依赖性。在本书中介绍的多种软件工具都可用于电路综合及其认证。尤其是那些由新泽西州 Upper Saddle River 的 Communication Consulting Corp 和新泽西州 Paterson 的 Synergy Microwave Corp 提供的工具。

本书也包含来自德国慕尼黑 Rohde & Schwarz 的优秀材料。在此新版本的准备过程中所

用的主要资料资源之一是 R&S *Introductory Training for Sales Engineers* CD (1998 年), 非常感谢他们的帮助。

本书共分 10 章:

第 1 章介绍了无线电通信系统、无线传输、噪声、数字信号处理以及调制理论和技术的基本知识。后者是相当重要的, 因为它们包含了调制和解调器的数字实现方法。随后本章又结合了一些历史背景对无线电接收机配置进行了介绍, 并为总体配置的折衷考虑提供了基础。在本章的结尾部分描述了用于通信和监测的现代无线电接收机的典型代表。

第 2 章介绍了无线电接收机的重要特性, 并介绍了它们的测量技术以及数字系统质量分析的原则。

第 3 章主要介绍接收机系统规划, 以便设计人员可以在相冲突的性能特性间进行选择以获得最佳性能。本章可分为滤波器设计的选择性、虚假信号响应定位和变频电路跟踪几部分。同时还讨论了噪声相关矩阵。

第 4 章介绍天线和天线匹配, 包括有源天线。有源天线在某些应用中是非常有用的, 但它常常会被忽视。

第 5 章概述了放大器设计和增益控制技术。在分析增益控制环路和数字中频处理时给出了大量数据。

第 6 章讨论了各种类型的混频器。详细阐述了许多重要电路的设计思想。在说明 CAD 设计功能时详细分析了 Gilbert 蜂窝混频器。

第 7 章讨论了本地振荡器频率控制。振荡器的精度和稳定性是超外差式接收机设计中最重要方面, 振荡器的详细介绍本身就能成为一本书。在现代接收机中, 所需的振荡器信号由合成器产生或控制, 本章还详细分析了振荡器中非线性噪声现象。

第 8 章概述了解调器技术和解调器设计, 介绍了传统的模拟解调器技术, 如 AM、SSB 和 FM 解调器。后面的部分介绍了用于数字信号调制的常用解调器, 包括基于 DSP 的系统。

第 9 章描述了典型无线电接收机所需的辅助和专用电路, 包括噪声限制器和抑制器、静噪电路、自动频率控制、分集组合、链路质量分析和用于多用天线输入组合以及用于信号均衡的自适应接收机处理技术。

第 10 章介绍了现代接收机的设计趋势, 包括先进数字信号处理技术越来越广泛的使用, 以及最近几年内接收机行业变化的趋势。本章讨论了高性能的合成器、混频器和转换器设计中的新概念。第二个趋势(关于介绍该趋势的书有很多)就是扩频调制的应用。其中简单介绍了一些技术和面临的问题, 并给出了详细信息的参考资料。最后一个讨论的趋势是接收机设计和评估时仿真的使用。整体系统仿真能为接收机设计人员提供有价值的指导, 尤其在多路径和非线性操作中。

虽然《通信接收机: DSP、软件无线电和设计(第三版)》比第二版的内容多很多, 但由于本书篇幅的限制, 为如此广泛的主题选择合适的资源仍很困难。从一开始, 我们就将注意

力集中在频率大约在 3GHz 以下的单信道通信接收机上，包括那些用于点对点无线电中继和卫星通信中继的接收机。篇幅限制使我们不能按所希望的那样对某些领域进行更详细的讨论。但是，本书提供了可从中找到更多信息的参考书目。

我们真诚地希望《通信接收机：DSP、软件无线电和设计（第三版）》对读者能有所帮助。

Ulrich L.Rohde, Ph.D., Sc.D.

Jerry C.Whitaker

2000 年 10 月 1 日

目 录

第 1 章 基本的无线电考虑因素	1
1.1 无线电通信系统	1
1.2 调制.....	9
1.2.1 模拟调制	10
1.2.2 数字信号的调制	16
1.3 数字信号处理	26
1.3.1 模/数 (A/D) 转换	26
1.3.2 数/模 (D/A) 转换	29
1.3.3 转换器的性能标准	31
1.3.4 处理信号序列	32
1.3.5 数字滤波器	36
1.3.6 非线性处理	41
1.3.7 抽取和插值	43
1.3.8 DSP 硬件和开发工具	45
1.3.9 DSP 器件举例	46
1.4 无线电接收机配置	49
1.4.1 超外差式接收机	52
1.4.2 有源器件的发展过程	54
1.5 典型的无线电接收机	54
1.5.1 模拟接收机的设计	55
1.5.2 混合模式 MFSK 通信系统	57
1.5.3 PLL CAD 仿真.....	61
1.5.4 设计举例: EB200.....	62
1.6 参考资料.....	70
1.7 参考书目.....	71
1.8 其他推荐读物	73
第 2 章 无线电接收机的特性	74
2.1 引言	74
2.2 无线电信道	74

2.2.1	信道冲激响应	77
2.2.2	多普勒效应	81
2.2.3	传递函数	82
2.2.4	信道冲激响应的时延响应和传递函数	83
2.3	无线电系统的实现	85
2.3.1	输入特性	85
2.3.2	增益、灵敏度和噪声系数	86
2.4	选择性	90
2.5	动态范围	91
2.5.1	减敏度	93
2.5.2	AM 交叉调制	93
2.5.3	互调	93
2.6	相互混频	96
2.6.1	相位误差	100
2.6.2	误差矢量幅度	101
2.7	寄生输出	102
2.8	增益控制	104
2.9	BFO	107
2.10	输出特性	107
2.10.1	基带响应和噪声	107
2.10.2	谐波失真	109
2.10.3	互调失真	109
2.10.4	瞬态响应	109
2.11	频率准确度和稳定性	110
2.12	频率稳定时间	112
2.13	电磁干扰	114
2.14	数字接收机的特性	115
2.14.1	误码率测试	115
2.14.2	传输和接收质量	117
2.15	参考资料	118
2.16	参考书目	118
2.17	其他推荐读物	119

第3章	接收机系统规划	120
3.1	接收机系统规划	120

3.2 噪声系数的计算	122
3.3 噪声相关矩阵	125
3.4 IP 的计算	129
3.5 寄生响应的位置	132
3.6 选择性	139
3.7 单调谐电路	139
3.8 耦合谐振对	141
3.9 复杂滤波器的特性	142
3.9.1 Butterworth 滤波器的选择性	143
3.9.2 Chebyshev 滤波器的选择性	145
3.9.3 Thompson 或 Bessel 滤波器的选择性	146
3.9.4 等波纹线性相位滤波器	148
3.9.5 过渡滤波器	149
3.9.6 椭圆函数滤波器	149
3.9.7 特殊设计和相位均衡	150
3.10 滤波器设计的实现	150
3.10.1 LC 滤波器	151
3.10.2 电谐振器	151
3.10.3 机电式滤波器	153
3.10.4 石英晶体谐振器	154
3.10.5 单片晶体滤波器	154
3.10.6 陶瓷滤波器	154
3.10.7 阻容 (RC) 有源滤波器	155
3.10.8 基于半导体的滤波器	158
3.11 时间抽样滤波器	158
3.11.1 离散傅里叶变换和 z 变换	160
3.11.2 离散时间抽样滤波器	161
3.11.3 模拟抽样滤波器的实现	161
3.12 数字处理滤波器	165
3.13 频率跟踪	168
3.14 中频和镜像频率抑制	174
3.15 电子调谐滤波器	175
3.15.1 二极管的特性	175
3.15.2 VHF 举例	177
3.16 参考资料	179

3.17 其他推荐读物	180
第4章 天线与天线的耦合	181
4.1 引言	181
4.2 天线耦合网络	181
4.3 将天线耦合到调谐电路	183
4.4 小型天线	186
4.4.1 鞭状天线	186
4.4.2 环形天线	188
4.5 多元天线	195
4.5.1 对数周期天线	195
4.5.2 八木天线	196
4.5.3 反射器天线	196
4.5.4 阵列天线	197
4.5.5 相控阵天线系统	197
4.6 有源天线	197
4.7 参考资料	207
4.8 其他推荐读物	208
第5章 放大器与增益控制	209
5.1 概述	209
5.2 线性两端口的表示	213
5.3 带有电抗元件的线性两端口网络中的噪声	219
5.4 宽带放大器	221
5.5 反馈放大器	226
5.5.1 增益稳定性	226
5.5.2 有关噪声考虑	227
5.5.3 反馈类型	230
5.5.4 混合反馈电路	234
5.5.5 基极-发射极反馈电路	235
5.6 放大器的增益控制	238
5.6.1 AGC	241
5.6.2 吉伯斯现象	242
5.6.3 AGC 响应时间	243
5.6.4 中频滤波延迟的影响	245

5.6.5 AGC 环路的分析	246
5.6.6 双环路 AGC	251
5.6.7 数字切换的 AGC	255
5.7 集成式中频放大器系统	255
5.7.1 数字中频处理	256
5.7.2 设计举例	257
5.7.3 放大器的选择	259
5.8 参考资料	259
5.9 其他推荐书目	260
第 6 章 混频器	262
6.1 简介	262
6.2 无源混频器	265
6.3 有源混频器	274
6.4 开关式混频器	277
6.5 基于集成电路的混频器	278
6.5.1 吉尔伯特混频器	282
6.5.2 吉尔伯特单元的性能分析	284
6.6 宽动态范围的变频器	289
6.7 混频器设计的注意事项	292
6.8 参考资料	296
6.9 其他推荐读物	298
6.10 有关产品的资源	300
第 7 章 频率控制与本地振荡器	301
7.1 简介	301
7.2 锁相环频率合成器	303
7.2.1 第 2 类二阶环路	305
7.2.2 使用三态相位检测器的数字环路的瞬态特性	309
7.2.3 实际的 PLL 电路	322
7.2.4 小数分频合成器	324
7.2.5 寄生抑制技术	326
7.2.6 合成器的噪声	330
7.2.7 实际离散组件举例	338
7.2.8 基于集成电路 (IC) 的振荡器实例	349

7.3 PLL 系统的噪声和性能分析	355
7.4 多环路合成器	360
7.5 直接数字式合成	362
7.6 单片集成的 PLL 系统	364
7.7 振荡器的设计	370
7.7.1 简单的振荡器分析	371
7.7.2 负阻	374
7.7.3 幅度稳定性	376
7.7.4 相位稳定性	376
7.7.5 低噪声振荡器	377
7.7.6 稳定性随周围环境的变化	378
7.8 可变频率振荡器	380
7.8.1 压控振荡器	382
7.8.2 二极管开关	385
7.9 晶体控制振荡器	388
7.9.1 泛音晶体振荡器	391
7.9.2 晶体振荡器的功耗	394
7.9.3 压控晶体振荡器	394
7.9.4 晶体振荡器的频率稳定性	395
7.10 频率标准	397
7.11 参考资料	400
7.12 其他推荐读物	402
7.13 产品信息	404
 第 8 章 解调与解调器	405
8.1 简介	405
8.2 模拟解调	405
8.2.1 AM	405
8.2.2 DSB 解调	415
8.2.3 SSB 和 ISB 解调	417
8.2.4 VSB 解调	418
8.2.5 相角解调	419
8.2.6 PM 解调器	424
8.2.7 FM 解调器	427
8.2.8 限幅器	435