

WILEY



经典译丛

信息与通信技术



Wireless Transceiver Design

Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems

无线收发机设计

——精通现代无线设备与系统设计

Wireless Transceiver Design

Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems

【以色列】 Ariel Luzzatto 著
Gadi Shirazi

宋青平 齐建中 余跃 王乐 译
宋鹏 审校



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

经典译丛·信息与通信技术

无线收发机设计

——精通现代无线设备与系统设计

Wireless Transceiver Design

Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems

[以] Ariel Luzzatto Gadi Shirazi 著

宋青平 齐建中 余跃 王乐 译

宋鹏 审校

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面、深入地介绍了无线接收机和发射机各部分的基本原理、设计方法以及在设计中应考虑的问题。全书共 6 章, 分别为现代收发机总体设计、接收机设计、发射机设计、频率合成器设计、振荡器设计、寄生与非线性现象, 详细阐述了各部分的原理、设计方法、技术指标。

本书内容丰富、概念清晰、理论分析严谨、实用性强, 可作为无线通信及相关领域的系统设计师、硬件工程师和科技工作者的业务工具书, 也可作为高校相关专业教师、高年级本科生和研究生的教材或教学参考书。

Wireless Transceiver Design: Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems

ISBN: 978-0-470-06076-6 Ariel Luzzatto Gadi Shirazi

Copyright© 2007 John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. This translation published under license.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the back cover are unauthorized and illegal.

本书简体中文版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Ltd. 授予电子工业出版社。未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封底贴有 John Wiley & Sons, Ltd. 防伪标签, 无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2011-3682

图书在版编目 (CIP) 数据

无线收发机设计: 精通现代无线设备与系统设计/ (以) 阿里埃勒·卢扎托 (Ariel Luzzatto), (以) 加迪·希拉兹 (Gadi Shirazi) 著; 宋青平等译. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

(经典译丛·信息与通信技术)

书名原文: Wireless Transceiver Design: Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems

ISBN 978-7-121-30649-5

I. ①无… II. ①阿… ②加… ③宋… III. ①无线电通信—通信设备—设计 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 308407 号

策划编辑: 凌毅 责任编辑: 凌毅

印刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开本: 787×1 092 1/16 印张: 13.25 字数: 300 千字

版次: 2017 年 1 月第 1 版

印次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

译 者 序

对于无线通信，无线收发机的研究与设计一直是重点。射频前端作为无线收发机不可或缺的一部分，其质量的好坏会直接对整个系统造成影响。假如射频电路的设计不合理，无线收发机的关键系统指标就很难达到，处理信号的效果也会恶化。所以为了提高所设计系统的综合性能指标，必须合理规划如功率、噪声、带宽、增益等系统指标。虽然现在的无线通信技术已日渐趋于成熟，但射频部分的研究却还是一个难点。基于此，《无线收发机设计》中文版重点针对无线收发机的射频部分进行深入的研究和分析，为读者提供了清晰的设计思路和详细的设计方法。

本书译自 2007 年由 Ariel Luzzatto 和 Gadi Shirazi 合著的 *Wireless Transceiver Design: Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems*。全书共分 6 章，主要讲述无线通信中无线收发机的设计，偏重论述射频电路系统总体设计。首先概述了现代收发机的结构，包括主要的接收机类型、主要的发射机类型、全双工收发机结构、半双工收发机结构以及它们的指标性能、工作原理、适用范围；接下来详细讨论了各种无线接收系统的原理、指标、设计方法，同时也详细讨论了无线发射系统的原理、指标、设计方法；作为无线收发机重要组成部分的频率合成器及振荡器，本书详细阐述了其类型、原理、指标以及对系统的影响；最后还论及射频电路中的寄生和非线性特性及其对系统性能的影响和消除方法。

本书的撰写人都是从事无线收发机领域工作的专家，具有多年的科学研究和工程实践经验，完成过多项科研及工程项目，在该领域积累了丰富的知识、经验和素材。书中将透彻的理论阐释和工程实际问题紧密结合，适用的读者对象包括无线通信及相关领域的系统设计师、工程师、高校教师，或通信相关专业的高年级本科生和研究生。

本书由北京控制与电子技术研究所信息系统工程重点实验室工程师宋青平博士、高级工程师余跃、北方工业大学讲师齐建中博士及讲师王乐博士完成了主要翻译工作。另外，北京控制与电子技术研究所信息系统工程重点实验室研究员黄四牛、刘琰、高级工程师高军军博士也参与了翻译工作。北方工业大学宋鹏教授对译稿进行了审校。翻译中译者力求忠实于原著，但由于受时间与水平的限制，不妥之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

作者简介

Ariel Luzzatto 有 30 年的从业经验，大部分经验都与设计以色列摩托罗拉的商业、工业通信和射频产品有关，曾担任特拉维夫大学通信电路与系统课程的讲师。获得了特拉维夫大学应用数学博士和硕士学位，以及电子工程学士学位。

Gadi Shirazi 有 25 年的从业经验，大部分经验都与设计以色列摩托罗拉的先进通信和射频产品有关，曾担任特拉维夫大学通信电路与系统课程的讲师。获得了特拉维夫大学的电子工程硕士和学士学位，以及通信领域的 24 项专利。

前 言

背景

对随时、随处可用的高速实时计算机互联网永无止境的需求加速了大量无线数据网络的诞生，这些互联网通过广泛接受的互联网协议获得支持。

WiFi、蓝牙和 WiMax 等流行语已经变成了日常用语，即使不懂这些词语技术含义的人也已耳熟能详。但是，所有这些用词语代表的都是相同的基本功能：通过无线网络进行高速数据传输。

随着 21 世纪技术的发展，无线网络标准已经越来越多，因为每个无线网络都有其自身独特的优势特点。要找出每个无线网络的发展规律是非常困难的。唯一可以确定的事实是，所有这些无线网络最终都是为了通过宽带无线设备进行数字通信，而且，其中的一个主要任务是达到允许大量不同的用户在拥挤且通常无管理的电磁环境下共存的目的。

现代的数字无线调制解调器和收发机的设计，能够在如此复杂的环境下支持高速数据协议，这和传统的数字无线调制解调器完全不同。无线产业链中许多元件的生产都需要一定的集成规模，只有在产量超大的情况下才能证明生产成本的合理性，因此，其设计和生产远远超出大多数高技术产业的能力。所以随着数字处理器和存储器的出现，研发工程师就必须知道该如何利用好几个大芯片制造商生产的现成多功能元件。

与此相反，其中几个最关键的子系统，例如压控振荡器(VCO)、线性功率放大器、快速跳频频率合成器等非常多元化并且依赖于应用，也就是说，多数情况下，在标准生产线中是没有适当的元件可用的。

上述技术发展的速度已经远远超过了现有文献的发展速度，因此行业研发工程师、学术研究人员和讲师们经常会在获取相关技术知识时遇到难题。因此，当选择全面且独立的方法时，我们应特别注意非常重要的主题部分，其理论和实际知识主要分散于含义模糊的专业论文中，通常不会以有组织、易于理解的形式出现。

范围

本书为学术级读物，为有经验的无线电和通信工程师提供全面、独立、易于理解的现代无线调制解调器和收发机设计的理论和实际指导，也可作为高年级本科和研究生的基础课程教材。

一方面，能够达到学术级别的水平意味着本书中采用了先进的数学和理论工具；另一方面，读者能够快速深入地了解书中的内容，以达到实用的目的。因此，我们特别注意不遗留任何“盲区”或晦涩难懂之处，并且，在首次提到背景相关的问题时会进行简要说明。

在谨慎把好技术关的同时，我们也始终注重实际应用，避免难懂的理论推导，同时，不会将时间浪费在对现代设计者毫无用处的“陈旧历史”上。众所周知且容易处理的，会简要说明实际应用结果，让读者阅读文献，参考其中的更多信息，重点则放在认为不太容易处理的非常重要的主题上。我们会给出分析和掌握关键寄生现象的方法，这些寄生现象有时会不受设计者控制，如果忽视，将在后期显现出来，造成产品进入商业应用后的困境。

说明示例和详细的计算示例贯穿于整本书中,对每个最常用的现代无线结构都进行了分析和设计。

书中的内容是按照自组织模式安排的,换言之,每一章都是独立的,只要需要,就可以找到转到其他章节具体主题的参考提示。

读完本书后,读者将掌握长期应用中所需的技术和工具,本书能够为难以分析和掌握的问题提供深入见解。更重要的是,通过本书读者能够:

- 充分理解描述完整系统的现代无线调制解调器和收发机特性的技术规范,学习到测量方法,发现它们是如何在各种各样广泛使用的结构中依靠(一个或多个)元件和子系统工作的。
- 理解与现成的射频和基带元件相关的重要特性(这些特性在通常情况下都不会明确给出,或者用模糊的描述来定义),学习到测试方法,以充分评估适用性和限制条件。
- 理解和实践这些电路和子系统的详细设计方法,这些设计通常是没有成品可以参照的,文献中也没有充分的介绍。
- 掌握重要和较难获得的参数设计、分析和测量方法,这些参数包括振荡器与合成器的相位噪声和振荡器杂散、射频功率放大器的峰均比和线性度、辐射杂散的发射等。
- 学习到分析和控制关键寄生现象的方法,关键寄生现象包括微音效应、再调制、振荡器泄露、寄生锁相环(PLL)极点、参考杂散、高频功率放大器不稳定等,了解它们是如何影响收发机性能的,以及如何测量和如何将它们的影响最小化。

缩 略 词

A/D	模数转换
ACPR	相邻信道功率比
ADSL	非对称数字用户环路
AM	调幅
BER	误比特率
BPF	带通滤波器
BPSK	二进制相移键控
BT	蓝牙
BW	带宽
CCR	共信道抑制
CDF	累积分布函数
CDMA	码分多址
CMOS	互补金属氧化物半导体
DCR	零中频接收机
DDFMT	双端口 FM 发射机
DFMT	直接调频发射机
DLT	零中频发射机
DSP	数字信号处理器
ESR	等效串联电阻
ET	包络跟踪
EVM	误差矢量幅度
FDMA	频分多址
FDTD	有限差分时域
FH	跳频
FM	调频
GMSK	高斯最小频移键控
GSM	全球移动通信系统
HIFR	半中频抑制
IF	中频
IMD	互调失真
IMR	互调抑制
IP	拦截点
IQ	同相与正交
LNA	低噪声放大器
LO	本地振荡器

LPF	低通滤波器
MASH	多级噪声成形
MIMO	多输入/多输出
NF	噪声系数
NRZ	非归零
OFDMA	正交频分多址接入
PA	功率放大器
PAPR	峰均功率比
PDF	概率分布函数
PLL	锁相环
PM	相位调制
QAM	正交幅度调制
QPSK	正交相移键控
RF	射频
RSSI	接收信号强度指示
SAR	特殊吸收比率
SHR	超外差接收机
SINAD	$(\text{信号} + \text{噪声} + \text{失真}) / (\text{噪声} + \text{失真})$ ——信纳比
SNR	信噪比
SoC	片上系统
SSB	单边带
TDD	时分双工
TDMA	时分多址
TETRA	陆地集群无线系统
TSCT	两次变频发射机
UUT	被测单元
UWB	超宽带
VCO	压控振荡器
VLIF	超低中频
VSA	矢量信号分析仪
WLAN	无线局域网

目 录

第 1 章 现代收发机结构	1
1.1 概述	1
1.2 接收机结构	1
1.2.1 超外差接收机(SHR)	2
1.2.2 零中频接收机(DCR)	10
1.2.3 超低中频接收机(VLIF)	11
1.3 发射机结构	15
1.3.1 两次变频发射机(TSCT)	16
1.3.2 零中频发射机(DLT)	17
1.3.3 直接调频发射机(DFMT)	18
1.3.4 双端口调频发射机(DDFMT)	19
1.4 收发机结构	20
1.4.1 全双工 CDMA/FDMA 结构	21
1.4.2 半双工/TDMA 结构	22
1.4.3 单工/TDD 结构	24
1.4.4 超宽带(UWB)系统	26
第 2 章 接收系统	27
2.1 灵敏度	27
2.1.1 灵敏度的计算	27
2.1.2 灵敏度的测量	30
2.2 共信道抑制	31
2.2.1 共信道抑制的计算	31
2.2.2 共信道抑制的测量	31
2.3 选择性	32
2.3.1 选择性的计算	33
2.3.2 选择性的测量	37
2.4 互调抑制	37
2.4.1 互调抑制的计算	38
2.4.2 互调抑制的测量	39
2.5 半中频抑制	40
2.5.1 半中频抑制的计算	41
2.5.2 半中频抑制的测量	42
2.6 镜像抑制	42
2.6.1 镜像抑制的计算	43
2.6.2 镜像抑制的测量	43

2.7	二阶失真抑制	44
2.7.1	二阶失真抑制的计算	44
2.7.2	二阶失真抑制的测量	45
2.8	阻塞	45
2.8.1	阻塞的计算	45
2.8.2	阻塞的测量	46
2.9	动态范围	47
2.9.1	动态范围的计算	47
2.9.2	动态范围的测量	47
2.10	双工灵敏度下降	47
2.10.1	双工灵敏度下降的计算	48
2.10.2	双工灵敏度下降的测量	49
2.11	双工镜像抑制	49
2.11.1	双工镜像抑制的计算	50
2.11.2	双工镜像抑制的测量	51
2.12	半双工杂散	52
2.13	镜像双工杂散	52
2.14	传导和辐射杂散	53
第3章	发射系统	54
3.1	峰均功率比(PAPR)	54
3.1.1	计算准静态射频信号的 PAPR	55
3.1.2	PAPR 的测量	58
3.2	非线性度对射频功率放大器的影响	58
3.2.1	功率放大器非线性度分析模型	59
3.2.2	功率放大器非线性度对数字调制的影响	62
3.2.3	功率放大器非线性度对频谱形状的影响	63
3.2.4	频谱再生的严格约束条件	66
3.3	功率放大器的非线性特性	70
3.3.1	互调失真(IMD)	73
3.3.2	误差矢量幅度(EVM)	75
3.3.3	相邻信道功率比(ACPR)	78
3.3.4	频谱限制	79
3.4	功率放大器的效率	79
3.5	发射机的瞬态现象	80
3.5.1	启动时间	81
3.5.2	键控频移	81
3.6	传导和辐射发射	81
3.6.1	传导杂散	82
3.6.2	回互调	83
3.6.3	辐射杂散	83

3.7	增强技术	86
3.7.1	线性化技术	86
3.7.2	包络跟踪电源	90
第4章	合成器	91
4.1	合成器结构	91
4.2	分数 N 分频概述	93
4.3	分数 N 分频理论	94
4.3.1	双模分数 N 分频	94
4.3.2	一阶 Σ - Δ 分数 N 分频	95
4.4	多级噪声成形(MASH)结构	97
4.4.1	第一级	98
4.4.2	第二级	99
4.4.3	第三级	101
4.5	MASH 噪声分析	102
4.5.1	伪随机序列界限	108
4.6	模拟 Σ - Δ A/D 转换器	109
4.7	锁相环基本理论的回顾	111
4.7.1	整数 N 分频的基本构成	112
4.7.2	整数 N 分频瞬态分析	113
4.7.3	整数 N 分频锁定时间分析	120
4.7.4	鉴频鉴相器	122
4.8	扩展的锁相环基本理论——分数 N 分频	123
4.9	合成器的测量	126
4.9.1	锁定时间	126
4.9.2	频率准确度和稳定性	127
4.9.3	参考杂散	128
第5章	振荡器	129
5.1	低功耗自限振荡器	129
5.2	反馈网络设计	131
5.3	振荡器噪声——Leeson 方程	134
5.4	双极型振荡器	139
5.4.1	非饱和双极型理论	139
5.4.2	双极型 VCO 详细设计	142
5.5	晶体振荡器	154
5.5.1	压电晶体的应用前景	154
5.5.2	反相器驱动的基本模式振荡器	155
5.6	晶体参数的测量	160
5.7	振荡器测量	161
5.7.1	窄带 FM 的相位噪声	161
5.7.2	单边带(SSB)噪声	162

5.7.3	残留调频	166
5.7.4	频率推移/牵引	167
5.7.5	输出平坦度	168
5.8	分布式谐振器的集总等效	168
5.8.1	谐振低损耗传输线	168
5.9	谐波振荡器	172
5.10	振荡器设计的一般方法	173
第6章	寄生与非线性现象	174
6.1	振荡器与合成器的寄生效应	174
6.1.1	注入锁定	174
6.1.2	注入牵引	176
6.1.3	再调制	177
6.1.4	反向结击穿	177
6.1.5	微音	178
6.1.6	接地电流	178
6.1.7	寄生极点和锁相环稳定性	180
6.2	截点和杂散响应	183
6.2.1	接收机互调抑制(IMRN)	186
6.2.2	发射机互调失真(IMDN)	187
6.2.3	输入截点的测量(IPN _i)	189
6.3	发射机的寄生效应	189
6.3.1	功率放大器不稳定性	190
6.3.2	频谱凸点	190
6.4	接收机中的寄生效应	192
6.4.1	Able-Baker 杂散	192
6.4.2	自消音信号	193
6.4.3	多普勒阻塞	194
6.4.4	斩波器噪声	195
6.5	特殊吸收比率(SAR)	195
	参考文献	196

第1章 现代收发机结构

现代收发机的结构与传统结构有很多不同。许多原来采用射频(RF)电路实现的功能,现已由数字信号处理器来实现,基带(低频)和射频在功能上所存在的界限已变得很模糊。

许多不同的结构不断更新,并各具独特的优缺点。本章的主要目的是让读者对各种收发机结构的主要特征有一个总体的认识,了解它们如何由现有的射频和基带元件来实现,弄清其应用范围和局限性。

本章的另一个目的是让读者弄清收发机中各项技术规范的含义及其对整个射频系统容量的影响,以及结构选择、子系统的设计和相互作用对各种技术规范的反作用。

只要我们能够准确定义出各个子系统,收发机的设计就可以简化成选取适当的现成元件,然后只需对非现成的部分进行详细设计即可。

1.1 概述

具有竞争力的商业设备要求具备小型化、低成本、强制性的多系统可操作性,以及非常低的电流消耗等特点,这迫使基带和射频子系统都需要采用大规模集成电路。但是,采用传统的收发机配置很难在一块芯片上达到如此高的集成水平。

因此,不能再采用传统的分立元件结构,必须以超快的专用数字信号处理器(DSP)作为主要执行功能的收发机结构取代它,实现收发功能并改善其频谱利用效率。

然而在大多数情况下,设计和生产成本的压力使得只有当产量需求足够大时才能使用专用芯片。

由此可见,就像数字设计师只能选用现成的处理器、存储器和外围设备一样,尽管一些大型芯片制造商设计生产的片上系统(SoC)和多功能元件一般都没有被优化,有的甚至都不能执行其功能,但是射频设计师也只能采用这些元件。

一方面,由于长期缺乏对片上系统的认识,以及在后续使用阶段可能出现的缺陷隐患,从而要求设计师们要对芯片参数有一个全面的评估。因为通常情况下,这些参数均没有明确的标注或只有宽泛的定义而已。

另一方面,许多与片上系统紧密关联的射频子系统变化多样、应用依赖性强,通常没有合适的标准产品可供选择,只能专门设计。

1.2 接收机结构

一个接收机可分成3个主要的功能模块。

- 前端：即所有对终端射频进行操作的电路，比如射频前端滤波器、低噪声放大器(LNA)、高频混频器等。
- 中频(IF)链路：即所有对非零中频进行操作的电路。
- 后端：即所有对低于第一级中频(若有的话)或除终端射频以外的其他频率信号进行操作的电路，比如基带处理电路、检波器等。

我们主要讨论决定接收机性能的关键参数：检波器输入端(通常位于后端数字基带取样器的输入端)的信噪比(SNR)。这里所说的信噪比，从广义上讲，指的是有用信号功率与所有无用干扰累积功率的比率。

我们经常会把各种干扰(噪声、信道上和非信道上的干扰等)和各种接收机限制(非线性、噪声系数(NF)、合成器频谱纯度等)转换成检波器输入端的等效信噪比。检波器前面所有模块的设计目的都是为了获得一定的信噪比。

这样，当检波器信噪比确定后，由检波器的传输函数来决定特定调制方式下接收信号的质量(例如，对数字调制来说，指的是误比特率(BER)；对模拟信号来说，指的是“信号+噪声+失真”与“噪声+失真”(SINAD)之间的比率)。

其他重要的设计因素除了小型化、低成本外，还要求具有电流消耗低、启动时间快、多频带、多系统、操作灵活等。

本书中，主要讨论两种最重要的接收机(Rx)结构，即现代超外差接收机(SHR)和零中频接收机(DCR)。SHR 主要用于宽带和窄带的高端应用方面(接收机指标在 75dB 以上)；DCR 主要用于宽带的中端应用方面(接收机指标在 50dB~75dB 之间)。

这两种接收机都采用分离的后端结构，包括同相和正交(IQ)基带通道。对于几种确定的调制方式，SHR 接收机也可以以单端配置方式工作。

第三种不太常用的接收机是超低中频接收机(VLIF)，主要在窄带低端产品和基于成熟 IQ 通道的低成本设备中应用(接收机指标在 50dB 及以下)。

对于每种结构，都将接收机各子系统的典型技术指标以列表的形式给出，第 2 章将使用这些表中的数据计算接收机所有其他的技术指标。

本书不会对大家都知道的接收机功能进行讨论，我们相信第 2 章给出的例子足以让大家掌握最新的理论，澄清各种现象的作用机制，理解各个独立模块和整个射频电路性能之间的关系。

1.2.1 超外差接收机(SHR)

具有 IQ 后端的超外差接收机是能满足高性能窄带和宽带接收机规格最合适的选择，其结构如图 1.1 所示。

图 1.1 给出了每个模块的工作频率，其中 f_R 为所要接收的频率， f_{IF} 为中频频率， bb 为基带频率。

基带输出经数字取样后传送给基带数字信号处理器(DSP)，以便对所接收的信号进行检测和进一步处理。对于射频设计来说，并不需要预先知道数字取样的结果，只需关心 IQ 低通滤波器(LPF)输出端的信噪比。

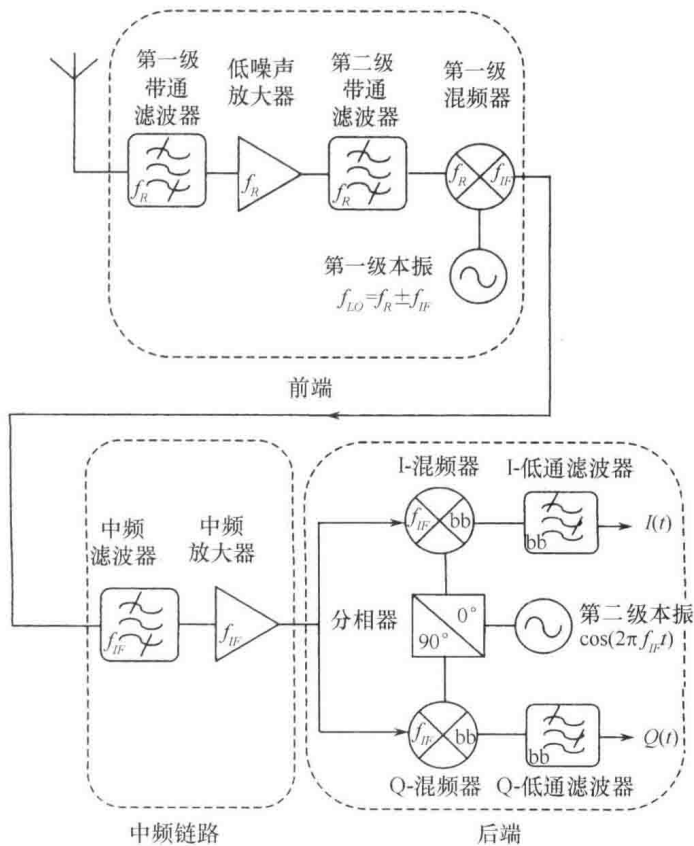


图 1.1 超外差接收机

对于给定的信噪比，输出性能是调制方式、编码方案等的函数。如果无线信号有多种状态，输出性能将会随之动态变化。

超外差接收机和 IQ 原理众所周知，在此仅简单介绍一下，感兴趣的读者可以参见第 2 章和参考书目中给出的详细分析。

为了计算，表 1.1 给出了图 1.1 所示接收机中各个模块的典型技术指标。这种接收机在频率间隔为 25kHz 的 850~870MHz 频带下工作时，具有很好的性能和安全性。

表 1.1 高端超外差接收机典型子系统值

	第一级和第二级带通滤波器	低噪声放大器	第一级混频器	第一级本振	中频滤波器	后端
中心频率(MHz)	860	860	860	$f_R \pm f_{IF}$	73.35	0
通带 BW	19MHz				18kHz	$2 \times 9\text{kHz}$
通带损耗(dB)	1.5				3	1
衰减@ $f_R \pm 2 f_{IF}$ (dB)	35					
衰减@ $f_R \pm 1/2 f_{IF}$ (dB)	10					
衰减@阻带(dB)	45				35	60
衰减@>9kHz 偏置(dB)					40	60
衰减@ $f_{IF} \pm 500\text{kHz}$ (dB)					40	

续表

	第一级和第二级 带通滤波器	低噪声 放大器	第一级 混频器	第一级 本振	中频 滤波器	后端
衰减@ $f_{IF} \pm 1000\text{kHz}$ (dB)					40	
噪声系数(dB)		2	7			11
增益(dB)		12	-7			70
二阶截点 IP2(dBm)			28			
三阶截点 IP3(dBm)		0	10			-20
单边带噪声@相邻通道(dBc/Hz)					-125	-118
单边带噪声门限(dBc/Hz)					-155	-145
IQ 幅度不平衡(dB)						0.5
IQ 相位不平衡($^{\circ}$)						3

注: $f_{IF} = 73.35 \text{ MHz}$; $f_R =$ 接收通道频率: $850.5\text{MHz} \leq f_R \leq 869.5\text{MHz}$ 。

1.2.1.1 超外差接收机概要

进入天线的接收信号由第一级带通滤波器(BPF)和第二级带通滤波器(也称为“预选器”)滤波。这两个滤波器的功能主要是抑制远离有用信号的各种寄生干扰效应。低噪声放大器(LNA)对改善灵敏度有好处,但并不是必需的,当第一级混频器采用有源结构时,低噪声放大器就可以不用。

第一级混频器通过本振(LO)信号(即通常所说的“注入信号”)将输入信号变换到中频。本质上,混频是通过将输入信号与本振信号相乘实现的,这使得任何进入混频器的载波信号都被减去或加上本振信号的瞬时相位。

在第2章中将会看到,如果由于相位相减使得本振信号被寄生相位调制所破坏,那么每个输入信号都将获得与本振信号相同的相位调制。因此,如果一种强干扰进入混频器,它就有可能扩展到接收频带,从而产生很严重的紊乱。

中频滤波器主要是保护接收机免受邻近干扰(离所要接收的频带1个或几个频道远)的影响。来自中频链路的信号被分成两路: I路(同相)和Q路(正交),然后,为了进一步提高处理效率并提供邻近干扰保护,中频信号被转换到零频。每一个被转换的I路或Q路通道(也被称作“正交通道”)都是一个带宽低于半个射频信号带宽的基带信号。分解是必须的,因为无法使用单端模式去检测幅度和相位都要调制的射频信号。但是,没有必要一定要分解成IQ正交的形式,单端后端模式能很好地对单独调频或单独调幅信号进行处理,尤其对于窄带语音而言。然而,这种IQ分解的灵活性和可实现性对大多数现代无线电设计都是非常合适的。

1.2.1.2 正交(IQ)调制概要

由于正交调制比较重要,所以来详细地回顾一下它的基本原理。最常用的正弦射频信号 $S(t)$,当其角频率为 ω (包含相对于 ω 较低的任意频率)、幅度和相位调制分别为 $A(t)$ 和 $-\pi/2 \leq \varphi(t) < \pi/2$ 时,可以表示成如下形式:

$$S(t) = A(t) \cos(\omega t + \varphi(t)) = \text{Re}[A(t)e^{j(\omega t + \varphi(t))}] \quad (1.1)$$