

JINGJIE SHOUJI DIANLU XILIE CONGSHU ←←←←←

精解

手机电路系列丛书

精解

双模手机

电路原理与维修技术(一)

◎ 张兴伟 等 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

精解手机电路系列丛书

精解双模手机电路原理与 维修技术 (一)

张兴伟 等 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

精解双模手机电路原理与维修技术. 1 / 张兴伟等编著.
北京: 人民邮电出版社, 2008.9
(精解手机电路系列丛书)
ISBN 978-7-115-18093-3

I. 精… II. 张… III. ①移动通信—携带电话机—电路
②移动通信—携带电话机—维修 IV. TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 064175 号

内 容 提 要

本书介绍了一些有典型代表性的采用 3G 技术的诺基亚、摩托罗拉、三星、LG、索爱等厂商的 WCDMA 手机电路及可能遇到的故障的排除方法。

本书共分 9 章, 第 1 章对 WCDMA 手机电路进行了简单的概述; 第 2、3、4 章讲述诺基亚 6630、N73、6680 手机的电路原理及维修技术; 第 5、6 章讲述摩托罗拉 A835、C975 手机的电路原理与维修技术; 第 7 章讲述 LG 的 U8110 手机电路原理与维修技术; 第 8 章讲述三星 Z107 手机的电路原理与维修技术; 第 9 章讲述索爱 K800 手机的电路原理及维修技术。

本书适合手机维修人员及广大电子爱好者阅读, 也可作为手机维修人员与职业技术学校的培训教材, 对于那些欲从事电路设计的人员, 本书也有很大的参考价值。

精解手机电路系列丛书

精解双模手机电路原理与维修技术 (一)

- ◆ 编 著 张兴伟 等
责任编辑 梁 凝
- ◆ 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>
北京昌平百善印刷厂印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25.75 插页: 13
字数: 646 千字 2008 年 9 月第 1 版
印数: 1~3 500 册 2008 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18093-3/TN

定价: 48.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

声 明

我们致力于移动通信设备（手机）维修技术书籍的编辑出版，任何时候都不反对参考、引用我们书中的内容（但请标明出处）。但是，我们发现一些以赢利为目的的大范围肆意抄袭本工作室图书的行为；有些网站也不加以声明，将我们的作品当他们自己的原创。

对此，我们特声明如下：

凡未经出版者书面允许，对本工作室图书的一部分或全部（包括信号图片、分解电路图）进行转载、复制或在其他出版物引用等行为，均属侵权行为。我们将委托律师事务所通过司法途径追究相关的侵权行为。

张兴伟工作室 www.zxwlab.com

前 言

目前手机的设计与制造技术日新月异，虽然，国内还没开通 WCDMA 标准的 3G 商用网络，但采用 3G 技术的 WCDMA 手机的强大娱乐性吸引了众多的手机用户，他们迫不及待地开始使用具有 WCDMA 功能的手机。

具有双模功能的 WCDMA 手机对于相当多的维修技术人员来说还是一个新的事物，关于 WCDMA 网络与标准的技术书籍比比皆是，但关于 WCDMA 手机电路的技术书籍还鲜于见到。

为此，我们搜集整理了一些具有双模功能的 WCDMA 手机电路的资料，并作了些加工处理，以期能为手机维修人员、电子爱好者及其他一些相关的技术人员提供必要的参考。

本书所选的机型具有典型的代表性。在本书的编写过程中，注意到点面结合，力求通俗易懂。通过大量的原始电路图并配合文字的叙述，使读者能比较轻松地理解，从而掌握这些类型手机的维修方法，并获得极具价值的电路参考资料。

现将本书献给广大读者，以便互相学习交流。由于资料来源与作者水平的限制，书中的错漏在所难免，恳请读者指正。

作 者

目 录

第1章 WCDMA 手机概述.....1

1.1 WCDMA 简介.....1

1.2 无线接收机电路结构.....2

1.2.1 超外差一次变频接收机.....3

1.2.2 超外差二次变频接收机.....4

1.2.3 直接变换的线性接收机.....5

1.2.4 低中频接收机.....6

1.3 发射机电路结构.....7

1.3.1 带偏移锁相环的发射机.....7

1.3.2 带发射上变频器的发射机.....9

1.3.3 直接变换的发射机.....9

1.4 WCDMA 手机射频系统.....10

1.4.1 一次变频与上变频收发信机.....10

1.4.2 直接变换与直接调制的收发信机.....13

1.4.3 直接变换与上变频的收发信机.....14

1.5 基带系统.....14

1.5.1 数字基带.....15

1.5.2 模拟基带.....15

1.5.3 电源管理单元.....16

1.6 快速检修分析技巧.....16

1.6.1 黑匣子方法.....17

1.6.2 电路与信号相关性的利用.....18

第2章 诺基亚 6630 手机电路原理与维修.....20

2.1 简介.....20

2.1.1 一般概述.....20

2.1.2 整机电路概述.....21

2.2 复合电源电路.....22

2.2.1 电池接口线路.....22

2.2.2 开机触发信号线路.....24

2.2.3 电调节器.....24

2.2.4 时钟电路.....26

2.2.5 开机序列.....28

2.3 RETU 与 TAHVO 芯片电路.....29

2.3.1 SIM 卡接口电路.....29

2.3.2 射频接口电路.....29

2.3.3 A/D 转换通道.....31

2.3.4 音频电路.....32

2.3.5 其他电路.....35

2.3.6 TAHVO 芯片电路.....36

2.4 数字基带信号处理器电路.....38

2.4.1 RAP3G 芯片的 CBUS 总线.....38

2.4.2 RAP3G 芯片 PUSL 总线.....39

2.4.3 RAP3G 芯片的数字音频接口.....39

2.4.4 RAP3G 芯片射频接口.....39

2.4.5 RAP3G 芯片存储器接口.....41

2.4.6 其他接口.....41

2.5 应用处理器电路.....41

2.5.1 OMAP1710 简介.....42

2.5.2 复位及 wakeup 控制.....42

2.5.3 按键接口.....43

2.5.4 显示接口.....43

2.5.5 MMC 卡接口.....43

2.5.6 照相机接口.....45

2.5.7 蓝牙模组.....47

2.6 接收射频电路.....49

2.6.1 WCDMA 接收机电路.....49

2.6.2 GSM 接收机电路.....50

2.6.3 频率合成电路.....51

2.7 发射射频电路.....52

2.7.1 WCDMA 发射机电路.....52

2.7.2 GSM 发射机电路.....55

2.8 6630 电路故障检修.....56

2.8.1 不开机故障.....56

2.8.2 射频故障.....57

2.8.3 音频故障.....64

2.8.4 其他故障.....64

第3章 诺基亚 N73 手机电路原理与维修.....66

3.1 开机与电源电路.....66

3.1.1 电池接口线路.....68

3.1.2 开机触发信号线路.....69

3.1.3	电调节器	69
3.1.4	时钟电路	70
3.1.5	开机序列	73
3.2	AVILMA 与 BETTY 芯片电路	74
3.2.1	SIM 卡接口电路	74
3.2.2	射频接口电路	74
3.2.3	A/D 转换通道	75
3.2.4	音频电路	76
3.2.5	其他电路	79
3.2.6	BETTY 芯片电路	80
3.3	数字基带信号处理器电路	81
3.3.1	RAP3G 芯片的 CBUS 总线	81
3.3.2	RAP3G 芯片 PUSL 总线	81
3.3.3	RAP3G 芯片的数字音频接口	82
3.3.4	RAP3G 芯片射频接口	82
3.3.5	RAP3G 芯片存储器接口	83
3.3.6	收音机电路	83
3.4	应用处理器电路	83
3.4.1	复位及 wakeup 控制	83
3.4.2	按键接口	84
3.4.3	存储卡接口电路	85
3.4.4	显示接口	85
3.4.5	照相机接口	85
3.4.6	按键背景灯	87
3.4.7	蓝牙通信电路	89
3.5	射频电路	91
3.5.1	WCDMA 接收机	93
3.5.2	WCDMA 发射机	93
3.5.3	GSM 接收机	93
3.5.4	GSM 发射机	94
3.5.5	频率合成电路	94
3.6	N73 电路故障检修	95
3.6.1	不开机故障	95
3.6.2	射频故障	100
3.6.3	音频故障	101
3.6.4	背景灯故障	102
3.6.5	照相机故障	102
3.6.6	其他故障	103
第 4 章 诺基亚 6680 手机电路原理与维修		
4.1	复合电源电路	105
4.1.1	电池接口线路	105

4.1.2	开机触发信号线路	108
4.1.3	电调节器	108
4.1.4	时钟电路	110
4.1.5	开机序列	112
4.2	RETU 与 TAHVO 芯片电路	113
4.2.1	SIM 卡接口电路	113
4.2.2	射频接口电路	114
4.2.3	A/D 转换通道	115
4.2.4	音频电路	115
4.2.5	其他电路	119
4.2.6	TAHVO 芯片电路	120
4.3	数字基带信号处理器电路	122
4.3.1	CBUS 总线	122
4.3.2	PUSL 总线	122
4.3.3	RAP3G 芯片的数字音频接口	123
4.3.4	射频接口	123
4.3.5	RAP3G 芯片存储器接口	124
4.3.6	其他接口	124
4.4	应用处理器电路	124
4.4.1	复位及 wakeup 控制	125
4.4.2	按键接口	125
4.4.3	显示接口	126
4.4.4	MMC 卡接口	126
4.4.5	照相机接口	128
4.4.6	蓝牙模组	130
4.5	接收射频电路	132
4.5.1	WCDMA 接收机电路	132
4.5.2	GSM 接收机电路	133
4.5.3	频率合成电路	134
4.6	发射射频电路	135
4.6.1	WCDMA 发射机电路	135
4.6.2	GSM 发射机电路	138
4.7	6680 手机电路故障检修	139
4.7.1	不开机故障	139
4.7.2	射频故障	142
4.7.3	音频故障	144
4.7.4	其他故障	144

第 5 章 摩托罗拉 A835 手机电路原理与维修

5.1	PCAP 芯片电路	146
5.1.1	电池供电及充电线路	147
5.1.2	开机触发与复位	150

5.1.3	电压调节器电路	151
5.1.4	系统时钟	153
5.1.5	音频通道	155
5.2	GSM 接收机电路	159
5.2.1	天线开关电路	159
5.2.2	GSM 接收机前级电路	162
5.2.3	GSM 接收中频电路	165
5.2.4	U500 的控制功能	167
5.3	GSM 发射机电路	168
5.3.1	发射基带处理电路	168
5.3.2	发射 VCO 电路	169
5.3.3	发射功率放大电路	170
5.4	WCDMA 接收机电路	171
5.4.1	U300 电路	172
5.4.2	Harmony 接收电路	174
5.4.3	Harmony 的控制单元	174
5.4.4	Harmony 的频率合成单元	175
5.5	WCDMA 发射机电路	176
5.5.1	Harmony 的发射单元	176
5.5.2	WCDMA 发射调制器	177
5.5.3	WCDMA 功率放大电路	180
5.6	数字基带信号处理器	182
5.6.1	POG 芯片简介	182
5.6.2	微处理器单元	184
5.6.3	DSP 接口	187
5.7	蓝牙、GPS 与照相机电路	187
5.7.1	蓝牙通信电路	187
5.7.2	GPS 电路	190
5.7.3	照相机电路	193
5.8	故障检修	194
5.8.1	不开机故障	194
5.8.2	GSM 射频故障	197
5.8.3	WCDMA 射频故障	199
5.8.4	蓝牙、GPS 与照相机故障	200
5.8.5	音频故障	201
5.8.6	其他故障	201
第 6 章 摩托罗拉 C975 手机电路原理与维修		203
6.1	PCAP 芯片电路	204
6.1.1	电池供电及充电线路	204
6.1.2	开机触发与复位	208
6.1.3	电压调节器电路	208

6.1.4	系统时钟	210
6.1.5	音频通道	212
6.2	GSM 接收机电路	215
6.2.1	天线开关电路	215
6.2.2	GSM 接收机前级电路	218
6.2.3	GSM 接收中频电路	222
6.3	GSM 发射机电路	224
6.3.1	U900 的发射机电路	224
6.3.2	发射功率放大电路	224
6.4	WCDMA 接收机电路	225
6.4.1	低噪声放大电路	225
6.4.2	WCDMA 接收混频	227
6.4.3	Harmony 接收电路	228
6.5	WCDMA 发射机电路	228
6.5.1	Harmony 的发射单元	228
6.5.2	WCDMA 发射调制器	229
6.5.3	WCDMA 功率放大电路	230
6.6	数字基带信号处理器	231
6.6.1	POG 芯片简介	231
6.6.2	微处理器单元	232
6.6.3	DSP 接口	235
6.6.4	存储器接口	235
6.7	故障检修	245
6.7.1	不开机故障	245
6.7.2	GSM 射频故障	248
6.7.3	WCDMA 射频故障	249
6.7.4	检修照相机与显示故障	250
6.7.5	音频故障	251
6.7.6	其他故障	251

第 7 章 LG-U8110 手机电路原理与维修

7.1	模拟基带信号处理器	252
7.1.1	开机及电源电路	252
7.1.2	音频电路	259
7.1.3	N2000 的 GPADC 单元	264
7.1.4	充电控制	265
7.1.5	SIM 卡接口	265
7.2	数字基带信号处理器	266
7.2.1	简介	266
7.2.2	硬件结构	266
7.2.3	外接存储器接口	267
7.2.4	射频接口	269

7.2.5	UART 与 USB 接口	270
7.2.6	GPIO 接口	272
7.2.7	GAM 硬件子系统	273
7.2.8	其他电路	277
7.3	GSM 接收射频电路	278
7.3.1	天线电路	279
7.3.2	GSM 接收射频处理	281
7.3.3	射频逻辑接口电路	283
7.4	GSM 发射射频电路	283
7.4.1	发射调制	283
7.4.2	功率放大电路	283
7.5	WCDMA 射频电路	285
7.5.1	WCDMA 接收射频电路	285
7.5.2	频率合成	285
7.5.3	WCDMA 发射射频电路	287
7.6	故障检修	289
7.6.1	不开机故障	289
7.6.2	GSM 射频故障	295
7.6.3	WCDMA 射频故障	296
7.6.4	音频故障	297
7.6.5	其他故障	298

第 8 章 三星 Z107 手机电路原理与维修 300

8.1	开机与电源电路	300
8.1.1	开机触发与开机维持	301
8.1.2	电压调节器	301
8.1.3	时钟与复位	305
8.1.4	端口说明	306
8.2	数字基带信号处理器	307
8.2.1	存储器接口	309
8.2.2	按键接口	309
8.2.3	时钟接口	310
8.2.4	GPIO 接口	311
8.2.5	射频接口及控制	314
8.2.6	音频接口	315
8.2.7	其他电路	319
8.3	多媒体处理器	322
8.3.1	存储器接口	323
8.3.2	音频接口	324
8.3.3	和弦音铃声电路	325
8.3.4	显示与照相机接口	326
8.4	GSM 接收射频	327

8.4.1	接收机前级电路	327
8.4.2	GSM 接收射频处理	330
8.4.3	频率合成	330
8.5	发射射频	333
8.5.1	GSM 发射 I/Q 调制	333
8.5.2	GSM 发射 VCO 与功率放大	335
8.5.3	WCDMA I/Q 调制	336
8.5.4	WCDMA 功率放大	337
8.6	WCDMA 接收射频	338
8.6.1	低噪声放大电路	339
8.6.2	I/Q 解调	339
8.7	故障检修	341
8.7.1	不开机故障	341
8.7.2	GSM 射频故障	345
8.7.3	WCDMA 射频故障	346
8.7.4	其他故障	347

第 9 章 索爱 K800 手机电路原理与维修 349

9.1	模拟基带电路	354
9.1.1	开机及电源电路	354
9.1.2	音频电路	361
9.1.3	GPADC 与 DAC 单元	366
9.1.4	充电控制	368
9.1.5	其他电路	369
9.2	数字基带电路	370
9.2.1	存储器单元	370
9.2.2	射频接口	374
9.2.3	GPIO 接口	377
9.2.4	LCD 与照相机电路	379
9.2.5	其他电路	381
9.3	射频电路	386
9.3.1	WCDMA 射频电路	386
9.3.2	GSM 射频电路	389
9.4	蓝牙与收音机电路	390
9.4.1	蓝牙通信电路	390
9.4.2	收音机电路	393
9.5	故障检修	393
9.5.1	不开机故障	401
9.5.2	音频故障	401
9.5.3	其他故障	402

第1章 WCDMA 手机概述

第一代(1G)移动电话采用的是模拟的蜂窝技术,它有很多种类但互不兼容,如美国的 AMPS、英国的 ETACS、日本的 MCMTS 和 HCMTS 以及北欧的 NMT 系统。

第二代(2G)电话采用 TDMA 或 CDMA 技术,使用直接调制到发射载波的数字信道,获得了更高的频谱效率,使信号质量、安全、实际数据服务量和国际漫游等几个方面的价值都得到提升。

欧洲把第三代移动通信系统称为通用移动通信系统(UMTS, Universal Mobile Telecommunication System)。第三代(3G)终端的目标是提供全球无缝移动性,同时与部分接入技术实现全球兼容,如无线本地环路、蜂窝、无绳和卫星系统。实现终端全球无缝移动性的一个技术上的挑战和困难在于实现全球统一的频率规划。

1992 年,世界无线电会议(WRC)在 2GHz 附近分配了一个频段,随后,国际电信联盟无线通信部(ITU-R)开始着手定义一份 3G 系统的要求清单,为满足这些要求提出了许多技术,包括 WCDMA、OFDM、TD-SCDMA 和 ODMA。

目前,国际上最具代表性的第三代移动通信技术标准有 4 种,它们分别是 cdma2000、WCDMA、TD-SCDMA 和 WiMAX。其中,cdma2000 和 WCDMA 属于 FDD 方式;TD-SCDMA 属于 TDD 方式,即系统的上、下行工作于同一频率。

1.1 WCDMA 简介

WCDMA 全名是宽带码分多址(Wideband CDMA),是一种由欧洲和日本提出的,由第三代合作伙伴项目(3GPP)制定的以 GSM MAP 为核心网、UMTS 陆地无线接入网(UTRAN)为无线接口的第三代移动通信标准。它可支持 384kbit/s~2Mkbit/s 不等的数据传输速率,可在 5MHz 带宽内,分别在快速移动、步行和慢速移动及静止的环境下,提供最高可达 144kbit/s、384kbit/s 和 2Mbit/s 的数据传输速率。WCDMA 前反向信道采用 1 500Hz 快速功率控制,前向信道采用发射分集,反向信道采用导频辅助的相干检测技术,可支持多种速率的分组传输,并可灵活地提供多种业务。

WCDMA 采用码分多址接入技术和扩频技术,加上其丰富的码字资源,使得该系统具有极高的频率利用率,而且同一频率还可以在相邻小区中重复使用,这有效地提高了无线网络的容量,同时也使无线网络规划变得较为容易。WCDMA 用码字区分信道,码字长度不同,信道提供的速率就不同,所需要的功率也不同,这为 WCDMA 系统有效支持多种业务、提供不同等级的服务质量奠定了基础。此外, WCDMA 中所用到的快速功率控制、软切换等先进技术,也使得 WCDMA 系统能够最大限度地降低干扰,提高服务质量。根据不同业务的不同

需求，WCDMA 能够提供多种不同类型（会话型、交互型、背景型等）、不同速率、不同服务等级的无线接入承载（RAB），从而支持高质量的语音业务、宽带的分组数据业务以及流媒体等多种不同的业务，为 3G 用户提供优质稳定、丰富多彩的服务。

WCDMA 用户可以在 WCDMA 和 GSM 系统间漫游和切换，这保证了在 3G 初期阶段，3G 用户不会因为 WCDMA 网络覆盖不全而在漫游或通信方面受到限制。

3GPP 定义了 WCDMA 终端两种可选择的工作模式：

频分复用模式（FDD）：其物理信道由两个参数确定——RF 信道号和信道码；适合于快速移动应用；上行和下行链路在频域分开；下行链路比上行链路容量大；上行和下行链路都是 100% 的占空比。目前市面上的 WCDMA 手机都属于这一类。

时分复用模式（TDD）：其物理信道由 3 个参数确定——RF 信道号、信道码和时隙；适合于室内或慢速移动应用；上行和下行链路具有相似的容量并占用相同的信道；上行和下行链路都采用不连续传输（DTX）技术。DTX 是一种用于优化无线语音通信系统效率的方法，这种方法在没有语音输入时随时关闭移动或便携式电话。在典型的 2 路通话中，每一方说话的时间都略小于总时间的一半，所以如果发射机只在存在语音输入时打开，电话工作的占空比就可以小于 50%。这种情况能够节约电池能量、减轻发射机元件的工作负担、使信道更加空闲，并允许系统利用空闲带宽与其他信号共享信道。DTX 利用语音活动检测（VAD）电路工作，在无线发射机中有时称作工作语音传输（VOX）技术。

在 FDD 方案中，FDD WCDMA 终端仅使用 60MHz 带宽：移动台的接收机使用 2 110~2 170MHz 频段（下行链路）；移动台的发射机使用 1 920~1 980MHz 的频段（上行链路）。这样，在使用 FDD 的工作模式运行时，接收、发射之间有 190MHz 的双工间隔，收发信机的接收、发射使用两个对称的频率信道（见表 1-1）。

尽管 FDD WCDMA 使用 5MHz 的信道带宽，但在实际的应用上，可以使用带宽为 200kHz 的载频（见表 1-1）。

表 1-1 部分 WCDMA 信道频率表

接收信道号	接收频率（MHz）	发射信道号	发射频率（MHz）
10562	2 112.40	9612	1 922.40
10600	2 120.00	9650	1 930
10601	2 120.20	9651	1 930.20
10700	2 140.00	9750	1 950
10701	2 140.20	9751	1 950.20
10800	2 160.00	9850	1 970
10801	2 160.20	9851	1 970.20
10837	2 167.40	9887	1 977.40
10838	2 167.60	9888	1 977.60

1.2 无线接收机电路结构

无线电接收机有两大类：一类是外差式接收机；另一类是直接变换的接收机。

相对而言，多数的移动通信设备的接收机是采用超外差（Super-Heterodyne）接收机。超外差式接收机的关键部件是“下变频器”——通常称之为“接收混频器”。根据其混频单元的

个数来区分，常见的超外差接收机有超外差一次变频接收机和超外差二次变频接收机。

总结现代移动通信设备的接收机，可将它们分为 3 种基本的框架结构：一种是超外差一次变频接收机；一种是超外差二次变频接收机；第三种是直接变换的线性接收机。

无绳电话、对讲机、收音机、电视机等设备的接收机通常都是超外差式的接收机；而移动电话、GPS、蓝牙通信等的接收机既有超外差式的接收机，又有直接变换的线性接收机。

1.2.1 超外差一次变频接收机

超外差（Super-Heterodyne）接收机使用混频器将高频信号搬到一个低得多的中频频率（IF，Intermediate Frequency）后再进行信道滤波、放大和解调，解决了高频信号处理所遇到的困难。依靠周密设计的中频频率和高品质的射频滤波器（镜像抑制、频带选择）、中频滤波器（信道选择），一个好的超外差接收机可以具有很高的灵敏度、选择性和动态范围，因此长久以来成为了高性能接收机的首选。

超外差接收机中的关键电路是下变频器（即混频电路，Mixer）。

接收机射频电路中只有一个混频电路的属于超外差一次变频接收机。超外差一次变频接收机的原理方框图如图 1-1 所示。该图所示的是数字移动通信设备中的接收射频系统，若是模拟的接收射频系统，图中的解调就只是被称为“解调”，输出的是模拟的音频信号。在数字移动电话中，图 1-1 中的解调被称为“RXI/Q 解调”。在所知的无线通信设备中，以移动电话采用这种结构的居多。

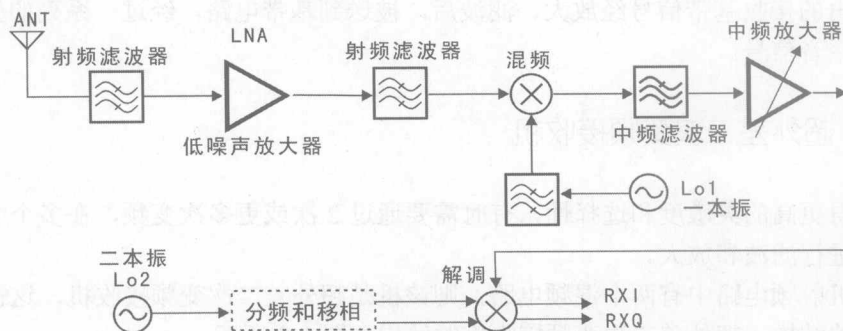


图 1-1 超外差一次变频接收机框图

采用此方案有以下一些优点。

首先，中频频率比信号载频的频率低很多，在中频频段实现对有用信号选择对滤波器 Q 值的要求要比在载频频段低得多。

其次，接收机从天线上接收到的信号电平通常很低，一般在 $-110\sim-85\text{dBm}$ 。如此微弱的信号要放大到解调电路和 A/D 变换电路正常工作所需要的电平，需要很大的增益（至少 100dB 以上）。为了放大器的稳定和避免自激振荡，在一个频段内的放大器的增益一般不超过 50~60dBm。采用超外差接收机方案后，可将接收机的总增益分散到射频、中频与基带 3 个频段上。而且，在较低的固定中频频率上做窄带的高增益放大器比在载波频段上做高增益的放大器要容易得多。

另外，在较低的固定中频频率上实现解调或 A/D 变换也相对容易。

从图 1-1 中可以看到，该类射频系统包括天线电路（ANT）、低噪声放大器（LNA，Low

Noise Amplifier)、混频器 (MIX)、中频放大器 (IFAMP) 及解调 (DEMOM)、本机振荡 (Lo, Local Oscillator) 等单元电路。

其中, 低噪声放大电路 (LNA) 输入端的接收射频滤波器主要起到选择工作频段、限制输入带宽、减少互调 (IM) 失真、抑制杂散 (Spurious) 信号、避免杂散响应和减小本振泄漏的作用, 在 FDD 系统中还可起到频域双工器的作用。

低噪声放大电路输出端的射频滤波器通常起到抑制由 LNA 产生或放大的镜像干扰、进一步抑制其他杂散信号、减小本振泄漏的作用。

低噪声放大器则在不造成接收机线性度恶化的前提下提供一定的增益, 对天线感应接收到的射频信号进行放大, 以满足接收混频电路对输入信号幅度的要求。

在混频电路中, 低噪声放大电路输出的接收射频信号与本机振荡信号进行混频, 得到接收机的中频 (IF) 信号。

混频电路与本机振荡电路之间的滤波器被称为 Injection Filter, 滤除来自本振的杂散信号。

中频放大器将接收中频信号放大到一定的幅度供后续电路 (如模数转换或解调器) 处理。中频放大器通常具有较大的增益, 接收机的增益控制多通过中频放大器及基带信号放大器实现。

接收中频信号被送到解调电路。数字移动电话中的这个解调电路通常采用的是正交混频器 (Quadrature Mixer), 支持正交解调及下变频。第二本振电路产生的信号经分频和移相电路处理后, 为解调电路提供正交的本机振荡信号, 该信号的频率与接收中频信号的中心频率一致。两个信号在解调电路中混频, 还原出模拟的接收基带信号 (RXI/Q 信号)。

解调输出的接收基带信号经放大、滤波后, 被送到基带电路, 经过一系列的处理后, 还原出模拟的话音信号。

1.2.2 超外差二次变频接收机

为了获得更高的灵敏度和选择性, 有时需要通过 2 次或更多次变频, 在多个中频频率上逐步对信号进行滤波和放大。

若接收机射频电路中有两个混频电路, 则该机是超外差二次变频接收机, 这也是无线电接收机常见的结构。超外差二次变频接收机的结构如图 1-2 所示。

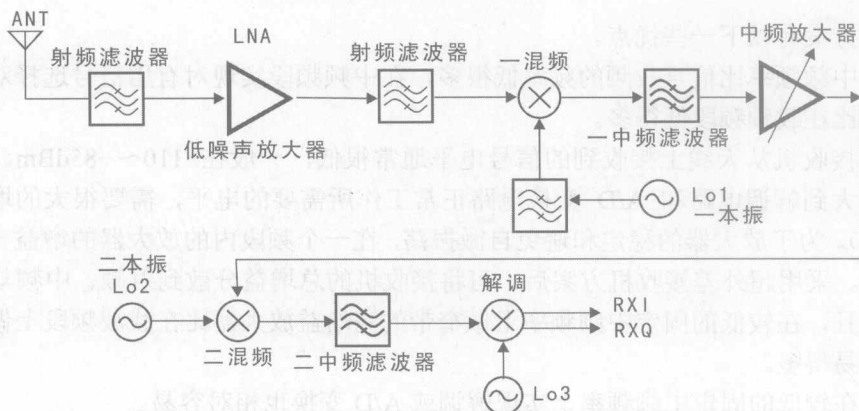


图 1-2 超外差二次变频接收机方框图 (一)

二次变频接收系统能比较好地解决中频选择中遇到的“灵敏度”与“选择性”的矛盾。一中频采用高中频值，以提高接收机抑制镜像频率干扰的能力。二中频采用低中频值。二中频滤波器完成提取有用信号、抑制邻近信道干扰的任务。

与一次变频接收机相比，二次变频接收机主要是多了一个混频电路。接收第二混频电路是把第一混频电路输出的中频信号与接收第二本振信号进行混频，得到接收机的第二中频信号。第二中频信号的频率比接收机的第一中频信号低许多。

大多数收音机、电视机、无绳电话、对讲机及相当一部分早期的移动电话的接收机都是超外差二次变频接收机。

在数字移动电话中，用于解调电路的本机振荡信号有两种产生方式：一种如图 1-2 所示，该方案中的 Lo3 通常是由移动电话中的参考振荡（系统主时钟）信号处理得到；另一种如图 1-3 所示，解调电路所使用的本机振荡信号由 Lo2 电路（中频 VCO 电路）产生的信号经分频和移相电路处理得到。相对于前者而言，采用如图 1-3 所示的结构比较多。

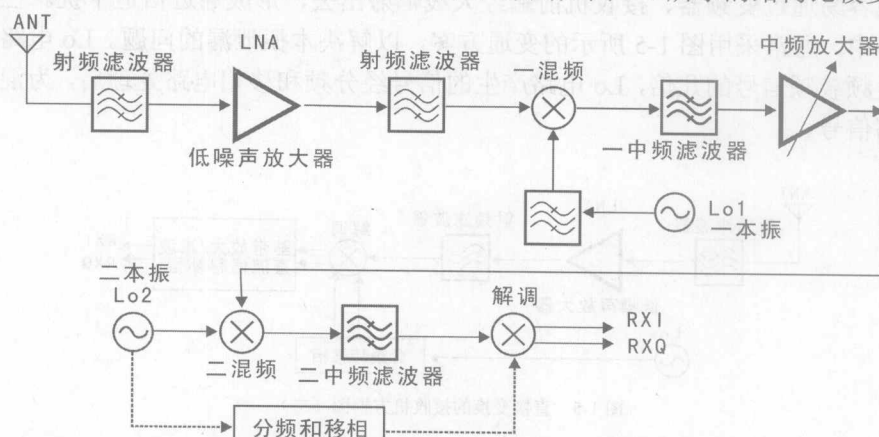


图 1-3 超外差二次变频接收机方框图（二）

超外差二次变频接收机的工作情况如下。天线感应接收到的射频信号经天线电路和射频滤波电路进入接收机电路。接收到的信号首先由低噪声放大器进行放大，放大后的信号再经射频滤波后，被送到接收第一混频电路。在第一混频电路中，低噪声放大电路放大后的信号与接收第一本机振荡信号进行混频，得到接收第一中频信号。第一中频信号被送到接收第二混频电路，与接收第二本机振荡信号混频，得到接收第二中频。接收第二中频信号经中频放大后，到解调电路进行解调，得到模拟的接收基带信号（或模拟接收机中的音频信号）。

1.2.3 直接变换的线性接收机

直接变换的线性接收机（Direct Conversion Linear Receiver）是一种比较特殊的接收机，接收到的射频信号在混频（解调）电路直接被还原出基带信号，该接收机的电路结构如图 1-4 所示。该类接收机也被称为“零中频”接收机，是最自然、最直接的实现方法。

在直接变换的线性接收机中，本机振荡信号的频率等于载频信号频率，取中频为 $\omega_{IF} = 0$ ，使接收机去除了镜像频率干扰。

在该接收机中，由于射频部分只包含了低噪声放大器与混频器，增益不高，容易满足线性动态范围的要求。该类接收机的增益主要由基带信号放大器提供。同时，由于下变频输出

的是基带信号，用低通滤波电路即可完成信道的选择。

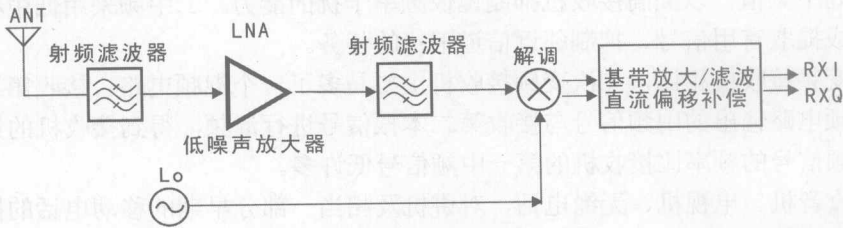


图 1-4 直接变换的接收机方框图（一）

但是，直接天线的线性接收机容易出现本振泄漏、直流偏移（DC Offset）与低频噪声方面的问题。

由于该类接收机的本振频率与信号频率相同，如果变频电路对本振信号的隔离性能不好，本振信号很容易通过变频器、接收机前端经天线辐射出去，形成邻近信道干扰。在实际的移动电话电路中，通常采用图 1-5 所示的变通方案，以解决本振泄漏的问题。Lo 电路产生的信号是接收射频载频信号的几倍，Lo 电路产生的信号经分频和移相电路处理后，为混频电路提供本机振荡信号。

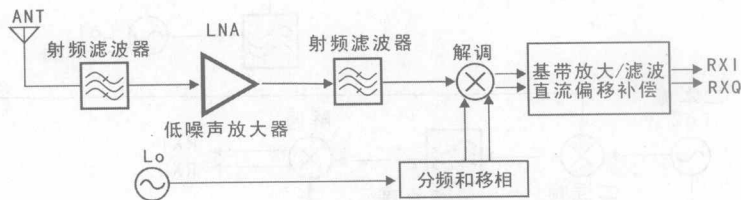


图 1-5 直接变换的接收机方框图（二）

比如在诺基亚的 8210 手机中，Lo 电路（SHFVCO）产生 3GHz 以上的信号。当接收机工作在 GSM 模式时，SHFVCO 电路产生的信号被 4 分频，得到 GSM 接收本机振荡信号；当接收机工作在 DCS 模式时，SHFVCO 电路产生的信号被 2 分频，得到 DCS 接收本机振荡信号。

直流偏移是零中频方案特有的一种干扰现象，它是由混频引起的。如果由本振泄漏的本振信号又从天线回到低噪声放大器，进入混频电路的射频信号输入端，它与混频电路本振端口输入的本振信号经混频，产生差拍为零频（即为直流）的直流偏移。这种直流偏移在超外差接收机中是不可能干扰有用信号的，因为超外差接收机中的中频频率不等于零。而在零中频方案中，将射频信号转化为零中频的基带信号，这些直流偏移就叠加在基带信号上，这些直流偏移一方面使信噪比变差，另一方面，这些大的直流偏移还可能使基带信号放大器饱和，无法放大有用信号。所以，在目前采用直接变换的线性接收机中，复合射频信号处理器中都集成了专门的直流偏移补偿电路。

1.2.4 低中频接收机

图 1-6 所示的是一个低中频接收机的方框图。单纯从电路结构图上看，低中频接收机可以说与超外差一次变频接收机的电路结构非常相似。

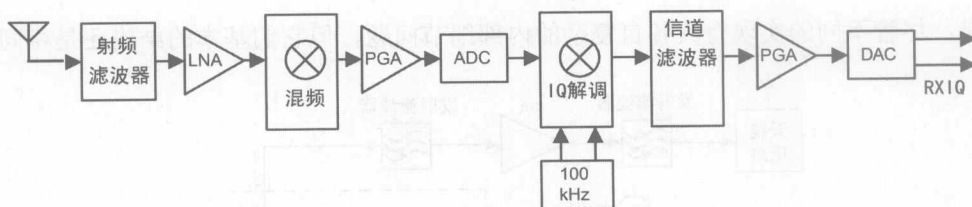


图 1-6 低中频接收机方框图

低中频接收机又被称为近零中频 (Near-Zero IF) 接收机, 具有“零中频接收机”类似的优点, 同时避免了“零中频接收机”的直流偏移 (DC Offset) 导致的低频噪声的问题。

与超外差一次变频接收机相比, 所不同的是, 一次变频接收机的中频信号的频率通常是很高的。比如摩托罗拉 GSM 手机 V998 的接收机是一次变频接收机, 其接收中频信号的频率是 400MHz。

而低中频接收机则不同, 混频电路输出的接收机中频频率很低 (接近基带信号的频率)。比如三星的 GSM 手机 T408, 其接收混频电路输出的中频信号的频率是 100kHz。

移动电话中使用的低中频接收机实际上通常是采用了数字中频方案。从图 1-6 中可以看到, 混频电路输出的低中频信号是模拟信号, 该信号经可编程增益的放大器 (PGA) 电路放大后, 经 ADC 单元变换, 转换为数字低中频信号, 然后才送到 I/Q 解调电路。

在 I/Q 解调电路, 采用两个正交的数字正弦信号作本振, 与数字低中频信号进行混频, 还原出基带信号。I/Q 解调电路输出的信号经滤波、放大后, 由 DAC 单元转换为模拟的接收基带信号 (RXI/Q), 输出到基带电路。

1.3 发射机电路结构

移动通信设备中的射频发射机的作用是如实地将调制信息转换成适于传输的格式向基站发送。

与接收机不同的是, 发射机的电路结构相对简单。总的来说, 发射机有直接上变频的发射机、外差式的发射机与直接调制的发射机 3 大类。

下面, 以移动电话的发射机射频系统为例来讲述发射机的射频电路结构。移动电话的发射电路大致有 3 种框架结构: 带发射上变频的发射机; 带偏移锁相环的发射机; 直接调制的发射机。这 3 种结构的发射机最大的不同在于送往功率放大器的最终发射信号的产生方式不同。

其他的发射机分别可参考这 3 种结构的发射机。

1.3.1 带偏移锁相环的发射机

数字移动通信设备中常见的一种发射机是带偏移锁相环 (OPLL, Offset Phase-Locked Loop) 的发射机, 其电路结构如图 1-7 所示。该类发射机先在较低的中频上进行调制, 得到已调发射中频信号, 然后将发射中频信号转化为最终发射射频信号。

带偏移锁相环的发射机包含功率放大器 (PA)、发射 VCO (TXVCO)、偏移混频 (Offset Mixer)、发射鉴相器 (PD) 及发射 I/Q 调制等电路。

需要注意的是, 由不同厂商生产的复合射频集成电路所组成的发射机的 OPLL 可能有所不

同。但是，尽管不同的实现有其各自复杂的内部细节问题，但它们基本的结构还是相同的。

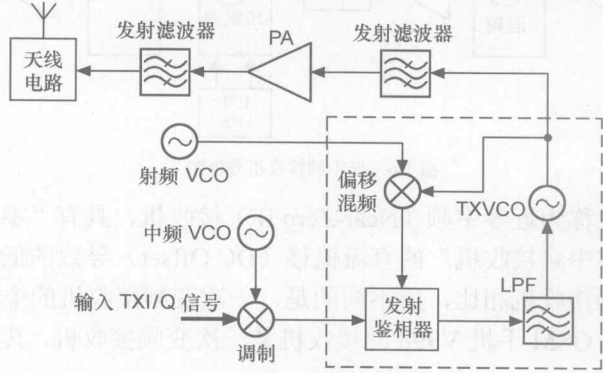


图 1-7 带偏移锁相环的发射机（一）

发射偏移锁相环也被称为发射调制环路（Transmit Modulation Loop），它由偏移混频电路（Offset Mixer）、发射鉴相器（PD）及外接的环路滤波电路（或称低通滤波电路、LPF）、发射 VCO 电路组成——图 1-7 中虚线框中的单元电路。

发射偏移锁相环将调制信息加载到发射 VCO 电路所产生的射频信号上，使偏移锁相环更像一个跟踪滤波器。偏移锁相环的最佳带宽将使发射 VCO 频率合成获得最小的动态相位误差及最小的锁定时间。

对带偏移锁相环的发射机的工作情况如下。

模拟的话音信号经送话器转变成模拟的话音电信号。话音信号在基带电路中经一系列的处理后得到发射机的基带信号（TXI/Q）。TXI/Q 信号被送到发射射频系统的调制电路（I/Q 调制）。

发射机的基带信号被调制到发射中频载波上，得到发射已调中频信号，发射已调中频信号被送到发射鉴相器单元。通常情况下，中频 VCO 电路并不直接给调制电路提供发射中频载波，中频 VCO 电路产生的信号经分频后才得到发射中频载波信号，如图 1-8 所示。发射中频载波信号除可以由中频 VCO 电路产生外，也可以由其他方式产生。

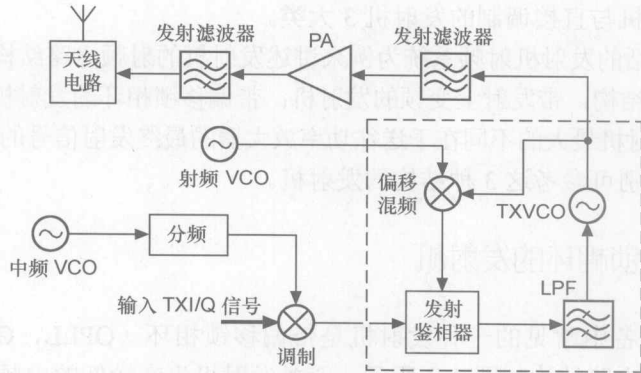


图 1-8 带偏移锁相环的发射机（二）

在发射机启动时，发射 VCO 电路开始工作，发射 VCO 电路所产生的信号被送到偏移混频电路，与射频 VCO 电路产生的信号进行混频，得到偏移锁相环中发射鉴相器的反馈输入信号。

偏移混频电路输出的反馈信号及 I/Q 调制电路输出的发射已调中频信号被送到发射鉴相