

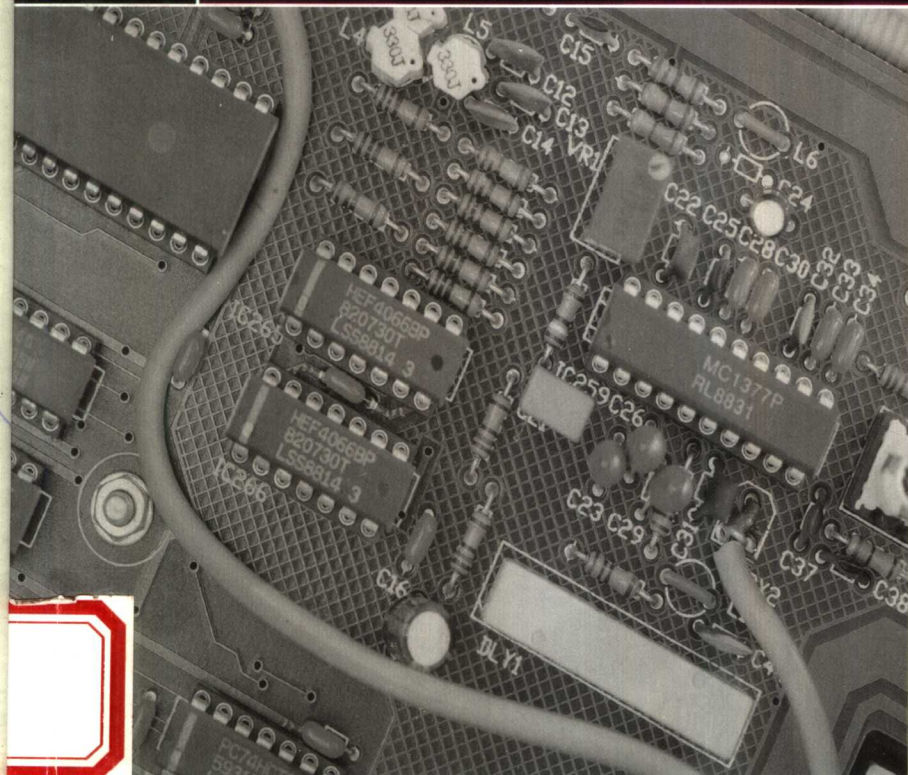
HZ BOOKS

21  
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

# 通信电子电路

黄智伟 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

21世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

# 通信电子电路

黄智伟 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

本书系统全面地介绍了通信系统模型、射频小信号放大器电路、射频功率放大器电路、正弦波振荡器电路、混频器电路、调制器和解调器电路、锁相环与频率合成器电路、微控制器电路、单片无线发射与接收电路的主要技术指标、电路结构与工作原理、电路设计方法与实例。在理论分析方面，注重分析问题和解决问题的基本方法与思路，在电路设计方面，则以集成电路为主，注重工程设计方法。

本书可作为高等院校通信工程、电子科学与技术、信息工程等专业的本科生和研究生的教材，也可以作为相关领域的科研和工程技术人员从事无线通信电路设计的参考书。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

### 图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路/黄智伟编著. —北京: 机械工业出版社, 2007.6

(21世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-21335-2

I. 通… II. 黄… III. 通信-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第058409号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 秦燕梅

北京京北制版厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.5印张

定价: 35.00元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换

本社购书热线: (010)68326294

# 前 言

本书是为高等院校通信工程、电子科学与技术、电子信息工程等专业的本科生和研究生编写的一本专业基础课教材，系统介绍了通信电子电路的工作原理、电路结构及设计方法。

“通信电子电路”是一门理论性和工程性很强的课程，本书注重理论分析与工程设计的结合，阐明了定量分析、定性分析和逻辑思维之间的关系。在保证理论分析的完整性基础上，在对典型电路结构和工作原理的分析过程中，重点阐述了基本概念和分析问题的基本思路。在电路设计方面，本书以集成电路为主导，在掌握基本概念的基础上进行工程估算，力求避免过程烦琐而缺少实用价值的详细计算。本书通过对电路实例的分析，突出了集成电路外部元器件的参数选择和印制电路板图设计，强调了工程设计的基本方法。本书所介绍的电路实例均由最新的集成电路构成，在思考题与习题中给出了一些公司的网址，读者可查询到更多的电路设计实例和实用资料，使其更具有工程性和新颖性。

本书在整体上保留了通信电子电路的基本体系，各章节有相对的独立性，以便不同专业、不同学时的教学选用。本书还增加了通信用微控制器和单片无线发射与接收集成电路的内容。本书也可以作为在通信工程、电子信息工程等相关领域的科研和工程技术人员从事无线通信电路设计的参考书。

全书共分9章，第1章介绍了通信系统的基本组成，通信的频段、通信系统的主要性能指标、CDMA手机、GPS接收机和雷达接收机等无线通信设备的结构与工作原理。第2章介绍了射频小信号放大器电路模型和主要技术指标，调谐放大器、参差调谐放大器和宽频带放大器的技术特点和电路技术，以及射频小信号放大器电路实例。第3章介绍了射频功率放大器的主要技术指标、电路结构与工作原理，功率放大器电路的阻抗匹配网络，功率合成器和功率分配器，功率放大器的线性化技术，以及射频功率放大器电路实例。第4章介绍了反馈型正弦波振荡器的基本结构，晶体振荡器的主要技术指标和电路结构，VCO的电路结构与工作原理；振荡器频率和振幅的稳定，寄生振荡的产生原因及其防止或消除方法，以及振荡器电路实例。第5章介绍了混频器电路模型和主要技术指标，有源混频器电路和无源混频器电路，混频器的组合、副波道、交调、互调、包络失真和阻塞等干扰，以及混频器电路实例。第6章介绍了模拟调幅、调频、调相电路的工作原理与电路结构，振幅键控、频移键控、相位调制的工作原理与电路结构，以及调制解调器电路实例。第7章介绍了频率合成器的主要技术指标，锁相环的基本结构与工作原理，DDS(直接数字式频率合成器)的基本结构与工作原理，以及频率合成器电路实例。第8章介绍了手机、蓝牙、GPS等通信用微控制器的结构与工作原理。第9章介绍了单片FM(调频)、单片无线数据通信、单片GPS接收机、单片蓝牙无线收发器和单片ZigBee无线收发集成电路的内部结构、工作原理与应用电路。

本书作为本科教材时，建议总学时数为40~48学时。如果能够与实际电路制作结合起来，学习的效果会更好。建议第1章学时数为2学时，重点掌握模拟和数字通信系统的基本结构和主要性能指标；第2章学时数为4~6学时，重点掌握射频小信号放大器的主要技术指标，LC调谐回路主要特性、调谐放大电路的电路结构和分析方法，电路实例的工程设计方法；第3章学时数为4~6学时，重点掌握射频功率放大器的主要技术指标、电路结构与

分析方法, 匹配网络、功率合成器和功率分配器的电路结构与分析方法, 电路实例的工程设计方法; 第4章学时数为4~6学时, 重点掌握三点式振荡器电路、石英晶体振荡器电路、压控振荡器电路的工作原理、基本结构和分析方法, 电路实例的工程设计方法; 第5章学时数为4学时, 重点介绍了混频器电路模型及频谱搬移现象, 吉尔伯特双平衡混频器电路的电路结构和工作原理, 混频器电路的主要技术指标, 电路实例的工程设计方法; 第6章学时数为4~6学时, 重点掌握数字调制与解调电路的工作原理、结构和分析方法, 电路实例的工程设计方法; 第7章学时数为6~8学时, 重点掌握频率合成器的主要技术指标, PLL、DDS的基本结构与工作原理, 频率合成器电路结构形式, 电路实例的工程设计方法; 第8章学时数为2~4学时, 重点掌握微控制器在通信系统中的应用形式, 可以选择手机、蓝牙、GPS等通信用微控制器其中之一进行介绍; 第9章学时数为2~4学时, 可以选择其中一些电路实例进行介绍, 重点掌握单片无线收发IC电路实例的工程设计方法。由于各章内容都比较丰富, 建议在学时重点讲解几个电路, 剩余的电路设计实例可以作为练习题, 由学生自学完成。也可以根据教学的需要对电路实例的工作原理、元器件选择和印制电路板设计进行深入的讨论。思考题与习题中给出了一些设计方案, 可以作为课程设计的内容。

本书在编写过程中, 参考了大量的国内外著作和资料, 得到了许多专家和学者的大力支持, 听取了多方面的宝贵意见和建议。李富英高级工程师对本书进行了审阅。南华大学电气工程学院的王彦副教授、朱卫华副教授、陈文光副教授, 长沙学院王新辉教授、刘辉副教授, 湖南师范大学邓月明老师, 以及李圣、黄松、刘宏、王凤玲、林杰文、王怀涛、童雪林、张清明、申政琴、黄琛、李伟等人为本书的编写做了大量的工作, 在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限, 错误和不足在所难免, 敬请各位读者批评斧正。

黄智伟

2007年3月

# 目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统模型	1
1.1.1 通信系统的基本组成	1
1.1.2 模拟通信系统	2
1.1.3 数字通信系统	3
1.1.4 通信系统的主要性能指标	4
1.1.5 通信的频段	5
1.2 无线通信系统实例	6
1.2.1 CDMA 手机	6
1.2.2 GPS 接收机	7
1.2.3 雷达接收机	9
1.2.4 蓝牙系统	13
1.2.5 通信电子战系统	14
1.2.6 扩频通信系统	15
1.2.7 超宽带无线收发器	19
1.2.8 软件无线电通信系统	21
1.2.9 OFDM 收发系统	23
1.2.10 MIMO 系统	25
思考题与习题	27
第 2 章 射频小信号放大器电路	29
2.1 射频小信号放大器的特点和主要技术指标	29
2.1.1 射频小信号放大器的特点	29
2.1.2 射频小信号放大器的主要技术指标	29
2.2 射频小信号调谐放大器电路	33
2.2.1 LC 调谐回路	33
2.2.2 单级单调谐放大电路	43
2.2.3 调谐放大器的级联	45
2.2.4 调谐频率相同的多级调谐放大器	45
2.2.5 参差调谐放大器	46
2.3 宽频带放大器	47
2.3.1 宽频带放大器的特点	47
2.3.2 宽频带放大器电路	48

2.4 集中选频放大器	50
2.4.1 集中选频放大器的特点	50
2.4.2 集中滤波器元件	50
2.5 射频小信号放大器电路实例	54
2.5.1 DC ~ 3.5GHz 宽带放大器电路	54
2.5.2 DC ~ 6GHz 宽带放大器电路	55
2.5.3 2.2GHz RF/IF 差分放大器电路	56
2.5.4 GPS 接收机 LNA 电路	58
思考题与习题	58
第 3 章 射频功率放大器电路	62
3.1 射频功率放大器的主要技术指标	62
3.1.1 输出功率	62
3.1.2 效率	62
3.1.3 线性	63
3.1.4 杂散输出与噪声	64
3.2 射频功率放大器电路结构	64
3.2.1 射频功率放大器的分类	64
3.2.2 A 类射频功率放大器电路	65
3.2.3 B 类射频功率放大器电路	68
3.2.4 C 类射频功率放大器电路	71
3.2.5 D 类射频功率放大器电路	72
3.2.6 E 类射频功率放大器电路	76
3.2.7 F 类射频功率放大器电路	79
3.3 功率放大器电路的阻抗匹配网络	82
3.3.1 阻抗匹配网络的基本要求	82
3.3.2 集总参数的匹配网络	83
3.3.3 传输线变压器匹配网络	84
3.4 功率合成与分配	87
3.4.1 功率合成器	87
3.4.2 功率分配器	91
3.5 功率放大器的线性化技术	94
3.5.1 前馈线性化技术	95
3.5.2 反馈技术	95
3.5.3 包络消除及恢复技术	97
3.5.4 预失真线性化技术	98



3.5.5 采用非线性元件的线性放大 .....	99	4.6.1 寄生振荡的表现形式 .....	138
3.6 射频功率放大器电路实例 .....	100	4.6.2 寄生振荡的产生原因及其防止或消除方法 .....	138
3.6.1 1.0GHz、60W 宽带射频功率放大器电路 .....	100	4.7 振荡器电路实例 .....	141
3.6.2 2.4GHz 频带的 WLAN 功率放大器电路 .....	102	4.7.1 10.00 ~ 60.00MHz 晶体振荡器 .....	141
3.6.3 蓝牙功率放大器电路 .....	103	4.7.2 10.00 ~ 56.00MHz VCXO .....	141
3.6.4 50Hz ~ 2.7GHz 射频功率测量电路 .....	106	4.7.3 50 ~ 122.88MHz VCXO .....	142
思考题与习题 .....	109	4.7.4 225MHz LC 振荡器和 VCO .....	142
第 4 章 正弦波振荡器电路 .....	113	4.7.5 10 ~ 1050MHz LC 振荡器和 VCO .....	144
4.1 反馈型正弦波振荡器的基本原理 .....	113	4.7.6 10 ~ 16MHz 时钟信号发生器 .....	145
4.1.1 反馈型正弦波振荡器的组成 .....	113	思考题与习题 .....	146
4.1.2 自激振荡的平衡条件 .....	113	第 5 章 混频器电路 .....	151
4.1.3 自激振荡的起振条件 .....	114	5.1 混频器电路的作用及频谱搬移现象 .....	151
4.1.4 振荡器的稳定条件 .....	115	5.2 混频器电路的主要技术指标 .....	153
4.2 LC 振荡器电路 .....	117	5.2.1 变频增益 .....	153
4.2.1 三点式振荡器电路的基本结构 .....	117	5.2.2 1dB 压缩点 .....	153
4.2.2 改进的电容三点式振荡器电路 .....	119	5.2.3 三阶互调截点 .....	154
4.2.3 几种三点式振荡器电路的比较 .....	121	5.2.4 噪声系数 .....	155
4.3 石英晶体振荡器电路 .....	121	5.2.5 端口隔离度 .....	155
4.3.1 石英晶体谐振器 .....	121	5.3 有源混频器电路 .....	156
4.3.2 石英晶体振荡器基本电路结构 .....	123	5.3.1 单管跨导型混频器电路 .....	156
4.3.3 普通晶体振荡器 .....	124	5.3.2 单平衡型混频器电路 .....	158
4.3.4 温度补偿晶体振荡器 .....	125	5.3.3 吉尔伯特双平衡型混频器电路 .....	160
4.3.5 恒温晶体振荡器 .....	127	5.4 无源混频器电路 .....	162
4.4 压控振荡器(VCO)电路 .....	129	5.4.1 二极管双平衡型混频器电路 .....	162
4.4.1 压控振荡器的主要技术指标 .....	129	5.4.2 无源场效应管混频器电路 .....	164
4.4.2 变容二极管压控振荡器 .....	130	5.5 混频器的干扰 .....	164
4.4.3 射极耦合多谐振荡器构成的 VCO .....	131	5.5.1 组合频率干扰 .....	164
4.4.4 环形振荡器结构的 VCO .....	132	5.5.2 副波道干扰 .....	165
4.5 振荡器频率和振幅的稳定 .....	133	5.5.3 交调干扰和互调干扰 .....	166
4.5.1 振荡器频率的稳定 .....	133	5.5.4 包络失真和阻塞干扰 .....	167
4.5.2 振荡器振幅的稳定 .....	136	5.6 混频器电路实例 .....	167
4.6 寄生振荡 .....	138	5.6.1 DC ~ 2.5GHz 高 IP <sub>3</sub> 混频器电路 .....	167
		5.6.2 1.3 ~ 2.3GHz 高线性度上变频器电路 .....	169

5.6.3	400MHz~2.7GHz 高信号 电平下变频器电路	171	解调	225	
5.6.4	2100~2400MHz 低噪声 放大器与混频器电路	172	6.6.2	可变速率正交振幅调制 (VR-QAM)与解调	228
5.6.5	GPS 接收机下变频器电路	174	6.7	调制解调电路实例	231
思考题与习题		175	6.7.1	0.8~2.5GHz 的直接正交 调制器电路	231
第6章 调制器和解调器电路		178	6.7.2	1.5~2.4GHz 正交调制 器电路	231
6.1	振幅调制与解调电路基础	178	6.7.3	40~500MHz 正交解调 器电路	233
6.1.1	普通调幅波的调制与 解调	178	6.7.4	0.1~500MHz 解调器 电路	233
6.1.2	抑制载波双边带调幅的调 制与解调	183	思考题与习题		235
6.1.3	抑制载波单边带调幅的调制 与解调	184	第7章 锁相环与频率合成器电路		240
6.2	频率调制与相位调制及其解调电路 基础	185	7.1	频率合成的基本方法和指标	240
6.2.1	频率调制(调频)	185	7.1.1	频率合成的基本方法	240
6.2.2	调频波的解调	189	7.1.2	频率合成器的主要技术 指标	241
6.2.3	鉴频电路	190	7.2	锁相环路电路基础	243
6.2.4	相位调制(调相)与解调	197	7.2.1	锁相环路的基本结构与工作 原理	243
6.3	数字振幅调制与解调电路基础	198	7.2.2	数字锁相式频率合成器的 基本结构与工作原理	246
6.3.1	二进制振幅键控(ASK) 调制与解调	198	7.2.3	全数字锁相环的基本结构 与工作原理	246
6.3.2	多进制振幅键控(MASK) 调制与解调	200	7.3	直接数字式频率合成器(DDS) 基础	251
6.4	数字频率调制与解调电路基础	201	7.3.1	DDS 的结构与工作原理	251
6.4.1	二进制频移键控(FSK)调 制与解调	201	7.3.2	DDS 的技术特点	255
6.4.2	多进制频移键控(MFSK) 调制与解调	205	7.3.3	DDS 的输出信号频谱特性	257
6.4.3	最小频移键控(MSK)	206	7.3.4	DDS 的调制特性	258
6.4.4	高斯最小频移键控 (GMSK)	208	7.4	频率合成器电路结构	259
6.5	数字相位调制与解调电路基础	214	7.4.1	单环型数字锁相式频率合成 器电路	259
6.5.1	二进制相移键控(PSK) 调制与解调	214	7.4.2	前置分频型单环数字锁相式 频率合成器电路	260
6.5.2	多进制相移键控(MPSK) 调制与解调	218	7.4.3	下变频型单环数字锁相式频 率合成器电路	261
6.5.3	四相调制 QPSK	219	7.4.4	变模前置分频型数字锁相式 频率合成器电路	261
6.5.4	偏移 QPSK	221	7.4.5	小数分频型数字锁相式频率 合成器电路	263
6.5.5	$\pi/4$ -QPSK	222	7.4.6	多环型数字锁相式频率合成	
6.6	正交振幅调制与解调电路基础	225			
6.6.1	正交振幅调制(QAM)与				



器电路 .....	264	处理器 .....	310
7.4.7 环外插入混频器的 DDS + PLL 频率合成器电路 .....	266	8.4.2 NJ1030 GPS 接收机基带 处理器 .....	313
7.4.8 环内插入混频器的 DDS + PLL 频率合成器电路 .....	266	思考题与习题 .....	317
7.4.9 DDS 激励 PLL 的频率合成器 电路 .....	267	第 9 章 单片无线发射与接收电路 .....	320
7.5 频率合成器电路实例 .....	268	9.1 单片调频发射与接收电路 .....	320
7.5.1 6.0GHz 可编程双模数前置分 频型数字锁相式频率合成器 电路 .....	268	9.1.1 49 ~ 150MHz 调频发射 电路 .....	320
7.5.2 550MHz/1.2GHz/2.8GHz 低功耗数字锁相式频率 合成器电路 .....	271	9.1.2 100MHz 窄带调频接收 电路 .....	322
7.5.3 10 ~ 1050MHz 的 RF 振荡器 电路 .....	272	9.2 单片无线数据通信发射与接收 电路 .....	323
7.5.4 225MHz 压控振荡器电路 .....	274	9.2.1 300 ~ 450MHz ASK 发射 电路 .....	323
7.5.5 14 位 125MSPS DDS 电路 .....	275	9.2.2 315MHz/433MHz ASK 超外 差式接收电路 .....	324
7.5.6 2.7GHz DDS 电路 .....	276	9.2.3 700 ~ 1000MHz FSK 收发器 电路 .....	329
7.5.7 双通道 500MSPS 10 位 DAC DDS 电路 .....	281	9.2.4 2.4GHz GFSK/FSK 收发器 电路 .....	333
思考题与习题 .....	284	9.3 单片 GPS 接收机电路 .....	339
第 8 章 微控制器电路 .....	287	9.3.1 基于 RF8009 的单片 GPS 接收机电路 .....	339
8.1 微控制器基础 .....	287	9.3.2 基于 iTrax02 模块的 GPS 接收机电路 .....	341
8.1.1 微控制器的基本结构 .....	287	9.4 单片蓝牙无线收发器电路 .....	346
8.1.2 ARM 微处理器的基本结构 .....	289	9.4.1 ROK 101 008 蓝牙模块 .....	346
8.1.3 微控制器的应用形式 .....	293	9.4.2 TC2000 单片蓝牙解决方案 .....	348
8.2 手机基带信号处理器 .....	296	9.5 单片 ZigBee 无线收发电路 .....	352
8.2.1 数字基带信号处理器 AD6528B .....	296	9.5.1 CC2420/CC2430 单片 ZigBee/ 802.15.4 收发器电路 .....	352
8.2.2 MSM6100 CDMA 手机 处理器 .....	299	9.5.2 SN250 单片 ZigBee/802.15.4 收发器电路 .....	356
8.3 蓝牙基带控制器 .....	303	思考题与习题 .....	361
8.3.1 ML70512 蓝牙基带控制器 .....	303	参考文献 .....	365
8.3.2 SiW1750 蓝牙基带处理器 .....	307		
8.4 GPS 接收机基带处理器 .....	310		
8.4.1 GP4020 GPS 接收机基带			

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 通信系统模型

### 1.1.1 通信系统的基本组成

通信的任务就是传递各种信息(消息),将信息由一地传向另一地,传输信息的系统称为通信系统。现代通信系统通常是用电信号来完成这一传递过程的。

电通信(以下简称通信)中所传递的消息,有各种不同的形式,例如,符号、文字、语音、音乐、数据、图片、活动画面等。因而,根据所传递消息的不同,目前通信业务可分为电报、电话、传真、数据传输、可视电话等。如果从广义的角度来看,则广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也可列入通信的范畴。

根据电信号传递的媒质不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。电信号通过导线、电缆线、光缆线等有线媒质传递的,例如,电话系统、有线电视、光纤通信等,均称为有线通信。电信号利用空间电磁波作为媒质来进行传递的,例如,无线电广播、无线电视、移动通信、卫星通信等,均称为无线通信。

任何一个通信系统,都是从一个称为信息源的时空点向另一个称为受信者(信宿)的目的点(用户)传送信息。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和信道的总和。通信系统种类很多,它们的具体设备和业务功能可能各不相同,但一个完整的通信系统应包括信息源输入变换器、发送设备、信道、接收设备、输出变换器和受信者五部分,通信系统的基本组成如图 1-1 所示。

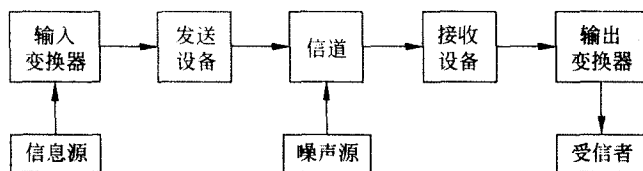


图 1-1 通信系统的基本组成

信息源是指要传送的原始信息,如文字、数据、语音、音乐、图像等,一般是非电量。对于非电量信号,需要经输入变换器变换为电信号(例如在传输声音信息时,首先需经声-电换能器(话筒),变换为相应的电信号)。如果输入信息本身就是电信号(例如计算机输出的二进制信号)时,可以直接送到发送设备。

发送设备是将电信号变换为适应于信道传输特性的信号的一种装置。

接收设备是将经信道传输后接收到的信号恢复成与发送设备输入信号相一致的信号的一种装置。

受信者是将电信号还原成原来的信息。例如通过扬声器(俗称喇叭)或耳机把收到的信号还原成原来的声音信号(语音或音乐)。

信道即传输信息的通道或传输信号的通道。信道概括起来有两种,即有线信道和无线信

道。有线信道包括架空明线、电缆、光缆等，无线信道可以是传输无线电波的自由空间，如地球表面的大气层、水、地层及宇宙空间等。

噪声源则是信道中的噪声及分散在通信系统中其他各处噪声的集中表示。

通信的分类和工作方式如图 1-2 所示。

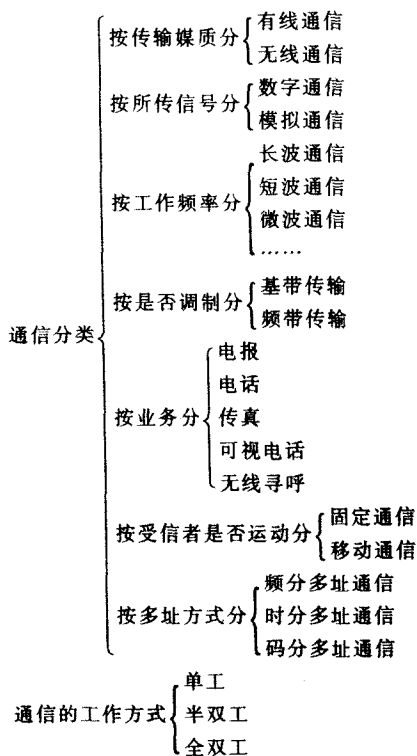


图 1-2 通信的分类和工作方式

### 1.1.2 模拟通信系统

典型的模拟通信系统方框图如图 1-3 所示。由于传送的是模拟信号，因此首先需要将发送端的信息源(即将要传送的语音、音乐、图像等连续变化的模拟信息)，通过输入变换器转变成连续变化的原始电信号。这种原始电信号具有频率较低的频谱分量，而且不能直接在信道中进行远距离的传输，通常称之为基带信号。

为了实现信息的传输，必须把基带信号变换成频率较高的、适合在信道中传输的电信号。通常称这种变换过程为调制，实现调制功能的电路被称为调制器。调制后的电信号被称为已调信号，已调信号是携带信息而且适合在信道中传输的电信号。在接收端，为了获取所传输的信息，必须将信道送来的已调信号，再变换成基带信号。这种变换与发送端的变换相反，是一种信号的反变换，这一变换过程称为解调，实现解调功能的电路被称为解调器。解调输出的基带信号，还必须由输出变换器重新恢复成连续变化的模拟信息(语音、音乐和图像等)。输出变换器往往是扬声器和显示器等。

调制器和解调器是无线通信中必不可少的。无线通信的发送设备是借助天线产生的电磁波，将信号发送到信道即空中去。接收设备也是利用天线来接收信道中的信号即空中的电磁

波。为使天线能有效地发送和接收电磁波，天线的几何尺寸必须和电磁波的波长相比拟，一般不宜超过  $1/4$  波长，例如音频的频率范围为  $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ ，对应的波长为  $15000 \sim 15\text{km}$ 。如果要将这一频段的信号通过天线有效地辐射到空间或接收下来，则要制造长度为  $3750 \sim 3.75\text{km}$  的天线，实现起来是很困难的。而将信号频率搬移到较高的频段后，天线的长度将明显减短。

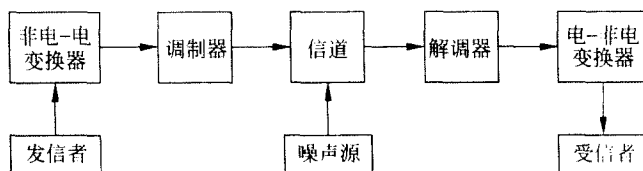


图 1-3 典型的模拟通信系统方框图

### 1.1.3 数字通信系统

数字通信系统组成方框图如图 1-4 所示。数字通信系统传输的是数字信号，因此在发送端必须把由信息源产生的连续变化的模拟基带信号，通过模/数变换器(ADC)变换成离散的数字基带脉冲信号。为了提高数字信号的传输效果、增强抗干扰能力和便于计算机处理，必须对 ADC 输出的数字基带信号进行编码处理。同时，为了使通信具有保密性，可以再对编码前的数字基带信号进行加密处理。经过这些处理以后形成的数字基带信号，送入数字调制器中进行数字调制。数字调制器输出带有数字信息的已调信号，在信道中进行传输。接收端收到数字已调信号后，送入解调器解调出原数字基带信号，再经译码、解密处理后，恢复出原始数字信号。然后，再由数/模变换器(DAC)变换成连续的原始模拟电信号。模拟电信号由模拟终端恢复出所要获取的模拟信息。

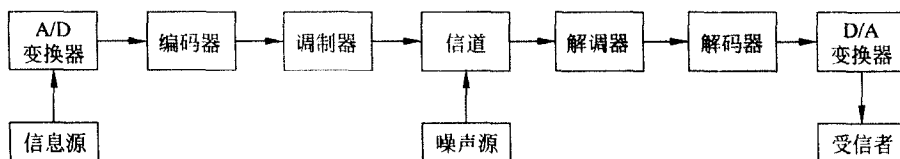


图 1-4 数字通信系统组成方框图

值得指出的是，数字通信中，有时往往所要获取的仅仅是数字信息，因而其终端也由数字终端即计算机或传真机等所取代。有时其信息源也常常是数字设备计算机或传真机。仅仅考虑传输数字信息的数字通信系统方框图如图 1-5 所示。

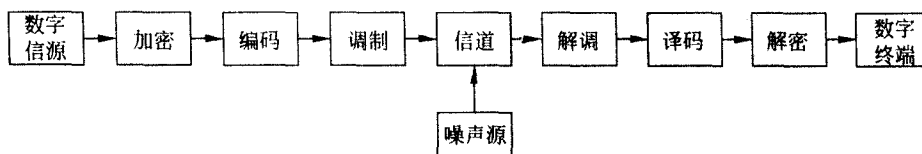


图 1-5 传输数字信息的数字通信系统方框图

数字通信系统的优缺点和主要技术问题如图 1-6 所示。

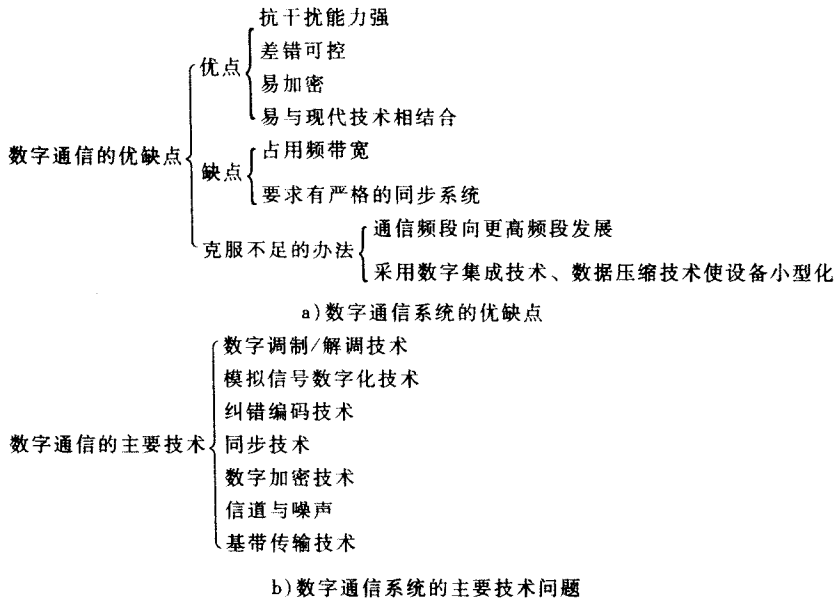


图 1-6 数字通信系统的优缺点和主要技术问题

#### 1.1.4 通信系统的主要性能指标

通信系统的性能指标是衡量、比较和评价一个通信系统的标准，是针对整个系统综合提出的。通信系统的性能指标也称为质量指标。一般通信系统的主要性能指标，归纳起来有以下几个方面：

- 1) 有效性：指通信系统传输消息的“速率”问题，即快慢问题。
- 2) 可靠性：指通信系统传输消息的“质量”问题，即好坏问题。
- 3) 适应性：指通信系统使用时的环境条件。
- 4) 经济性：指通信系统的成本问题。
- 5) 保密性：指通信系统对所传信号的加密措施，这一点对军用系统显得更加重要。
- 6) 标准性：指通信系统的接口、各种结构及协议是否符合国家标准和国际标准。
- 7) 维修性：指通信系统是否维修方便。
- 8) 工艺性：指通信系统的各种工艺要求。

对一个通信系统，从研究消息的传输来说，有效性和可靠性将是两个主要的指标。这也是通信技术讨论的重点，至于其他的指标，如工艺性、经济性、适应性等，不属本书研究范围。

通信系统的有效性和可靠性是一对矛盾，通过进一步学习，将会对这一点有更深的体会。一般情况下，要增加系统的有效性，就得降低可靠性，反之亦然。在实际中，常常依据实际系统要求采取相对统一的办法，即在满足一定可靠性指标的基础上，尽量提高消息的传输速率，即有效性；或者在维持一定有效性的条件下，尽可能提高系统的可靠性。

对于模拟通信来说，系统的有效性和可靠性具体可用系统有效传输带宽和输出信噪比（或均方误差）来衡量。模拟系统的有效传输带宽  $BW$  越大，系统同时传输的话路数也就越多，有效性就越好。

对于数字通信系统而言，系统的可靠性和有效性具体可用误码率和传输速率来衡量。数

字通信系统的主要性能指标如图 1-7 所示。

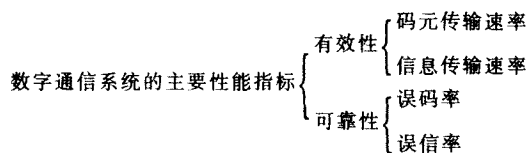


图 1-7 数字通信系统的主要性能指标

### 1.1.5 通信的频段

在无线通信系统中，信息是依靠高频无线电波来传递的。频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波，为了便于分析和应用，习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域，即对频率或波长进行分段，称为频段或波段。

由美国电气和电子工程师学会(IEEE)建立的频谱分段见表 1-1。频率与波长的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1.1)$$

式中， $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，为无线电波在空间的传播速度； $f$  的单位为 Hz； $\lambda$  的单位为 m。

表 1-1 IEEE 频谱分段表

频 段	频 率	波 长
ELF(极低频)	30 ~ 300Hz	10000 ~ 1000km
VF(音频)	300 ~ 3000Hz	1000 ~ 100km
VLF(甚低频)	3 ~ 30kHz	100 ~ 10km
LF(低频)	30 ~ 300kHz	10 ~ 1km
MF(中频)	300 ~ 3000kHz	1 ~ 0.1km
HF(高频)	3 ~ 30MHz	100 ~ 10m
VHF(甚高频)	30 ~ 300MHz	10 ~ 1m
UHF(特高频)	300 ~ 3000MHz	100 ~ 10cm
SHF(超高频)	3 ~ 30GHz	10 ~ 1cm
EHF(极高频)	30 ~ 300GHz	1 ~ 0.1cm
亚毫米波	300 ~ 3000GHz	1 ~ 0.1mm
P 波段	0.23 ~ 1GHz	130 ~ 30cm
L 波段	1 ~ 2GHz	30 ~ 15cm
S 波段	2 ~ 4GHz	15 ~ 7.5cm
C 波段	4 ~ 8GHz	7.5 ~ 3.75cm
X 波段	8 ~ 12.5GHz	3.75 ~ 2.4cm
Ku 波段	12.5 ~ 18GHz	2.4 ~ 1.67cm
K 波段	18 ~ 26.5GHz	1.67 ~ 1.13cm
Ka 波段	26.5 ~ 40GHz	1.13 ~ 0.75cm
毫米波	40 ~ 300GHz	7.5 ~ 1mm
亚毫米波	300 ~ 3000GHz	1 ~ 0.1mm

在有线通信和无线通信系统中，需要根据不同通信技术的要求，选用合适的通信频段，一些通信系统应用的无线电波的波段(频段)见表 1-2。

表 1-2 一些通信系统应用的频段

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称	主要用途或场合
超长波	$10^8 \sim 10^4$ m	3Hz ~ 30kHz	VLF(甚低频)	音频、电话、数据终端
长波	$10^4 \sim 10^3$ m	30 ~ 300kHz	LF(低频)	导航、信标、电力线通信
中波	$10^3 \sim 10^2$ m	300kHz ~ 3MHz	MF(中频)	AM(调幅)广播、业余无线电
短波	$10^2 \sim 10$ m	3 ~ 30MHz	HF(高频)	移动电话、短波广播、业余无线电
米波(超短波)	10 ~ 1m	30 ~ 300MHz	VHF(甚高频)	FM(调频)广播、TV(电视)、导航移动通信
分米波	100 ~ 10cm	300MHz ~ 3GHz	UHF(特高频)	TV、遥控遥测、雷达、移动通信
厘米波	10 ~ 1cm	3 ~ 30GHz	SHF(超高频)	微波通信、卫星通信、雷达
毫米波	10 ~ 1mm	30 ~ 300GHz	EHF(极高频)	微波通信、雷达、射电天文学

## 1.2 无线通信系统实例

### 1.2.1 CDMA 手机

一个采用 MSM3100 单芯片移动终端调制解调器、RFR3100 接收射频处理电路、RFT3100 发射射频处理电路和 IFR3000 复合中频(IF)芯片组构成的 CDMA 手机电路如图 1-8 所示。

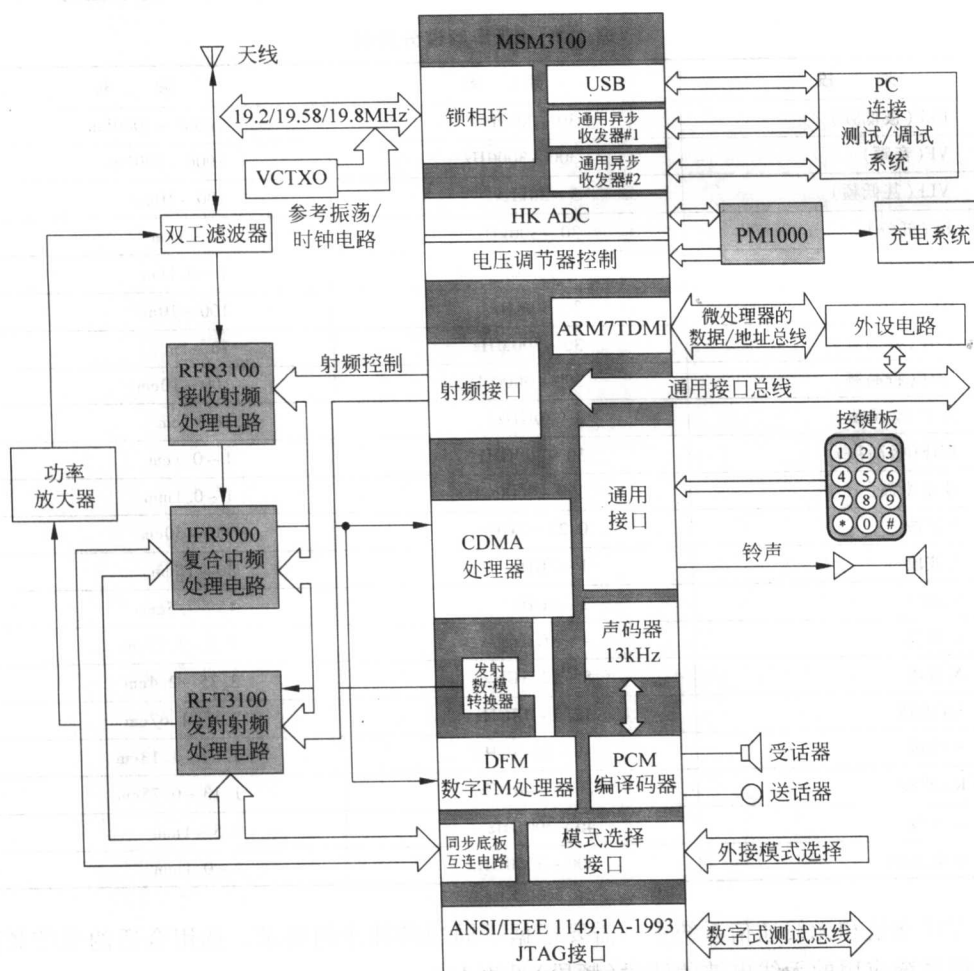


图 1-8 采用 MSM3100 芯片组构成的 CDMA 手机电路方框图



MSM3100 是高通公司的第六代 CDMA 器件,它在 MSM3000 功能和结构的基础上,又增加了语音编/解码器与发射(TX)数/模转换器(DAC)的混合信号功能。MSM3100 芯片组支持 CDMA PCS(1900MHz)频段、CDMA 800MHz 频段,并可支持 AMPS 系统(一种用于北美的模拟移动通信系统)。MSM3100 内的子系统包括:CDMA 处理器、“数字 FM”(DFM)处理器、多标准语音编码器、带耳机及传声放大器的集成编/解码器、用于系统监控的通用模/数转换器(ADC)、ARM7 TDMI 微处理器,以及支持 86.4kb/s 正向链路 MDR 数据通信的“通用串行总线”(USB)和 RS-232 串行接口。

MSM3100 用于进行基带数字信号处理并执行用户系统软件。它是用户终端的中心接口器件,能提供射频及基带部分的接口及控制信号、对音频电路进行控制,以及提供内存接口和必需的用户接口。它包含适用于如 IS-95B 中指定的 CDMA 和 AMPS 蜂窝标准的完整数字调制与解调。

MSM3100 内置集成编/解码器,可直接与传声器和耳机连接。内部语音编码器支持 EVRC、QCELP 13kHz 语音编码器。MSM3100 以先进的亚微米 CMOS 工艺制造,采用 208BGA 形式封装,从而既增加了引脚数量,又便于 PCB 布线,同时又不增加印制板的面积。

RFT3100 完成模拟基带到射频的上变频转换,IFR3000 完成中频至基带的下变频转换,RFR3100 完成射频至中频的下变频转换,PM1000 负责电源管理。

## 1.2.2 GPS 接收机

GPS 接收机可分为两种基本类型:1)同时跟踪 P(Y)码和 C/A 码的 GPS 接收机。2)仅跟踪 C/A 码的 GPS 接收机。

PPS 接收机同时在 L1 和 L2 上跟踪 P(Y)码,PPS 接收机初始工作时在 L1 上跟踪 C/A 码,然后转换到在 L1 和 L2 上跟踪 P(Y)码。Y 码跟踪仅仅在加密单元的辅助下才能产生。SPS 接收机只跟踪 L1 上的 C/A 码。在这两种基本接收机类型中,还有其他一些变形,比如无码 L2 跟踪接收机,这种接收机跟踪 L1 上的 C/A 码,同时也跟踪 L1 和 L2 频率上的载波相位。利用载波相位作为测量点,测量精度能够达到厘米级(甚至毫米级)。大多数接收机有多个通道,每一个通道跟踪来自一颗卫星的发射信号。

GPS 接收机一般由天线单元(有源或者无源)和接收单元两部分组成。卫星信号是通过天线接收的,天线单元由接收天线和前置放大器组成。天线为右圆极化(RHCP)形式。由于卫星信号是右圆极化(RHCP)的,适合于采用圆锥螺旋天线或其变形(如定向天线、偶极子天线、微带天线、螺旋天线等)。同时在 L1 和 L2 上跟踪 P(Y)码的 GPS 接收机,需要同时在两个频率上具有 20.46MHz 的带宽。如果 GPS 接收机只跟踪 L1 上的 C/A 码,天线(和接收机)必须有至少 2.046MHz 的带宽。天线形式有多种,如螺旋线、薄的微带(即片状)等。在宽动态的飞机上,倾向使用薄剖面的、低空气阻力的片状天线,而陆上的运载体(如汽车)可允许较大外形的天线。选择天线时,需要考虑的参数有天线增益场形、可用的安装面积、空气动力性能、多径性能、无线电相位中心的稳定性和抗干扰性等。某些军用飞机使用波束控制或自适应调零天线以抵制干扰。

接收单元包括信号通道单元、存储单元、计算和显示单元、电源四部分,其中的主要部分是信号通道单元,通常由硬件和软件组成,每一通道在某一时刻只能跟踪一颗卫星,当这颗卫星被锁定后,便占据该通道,直到失锁为止。目前 GPS 接收机广泛应用并行多通道技术,即一个 GPS 接收机可同时跟踪多颗卫星、同时锁定多颗卫星,大大缩短了确定卫星 PVT 的

时间。

在接收单元中，GPS 射频信号被下变频到中频(IF)，利用模/数转换器对 IF 信号采样和数字化。基带处理器对接收机进行控制，包括信号的截获、信号跟踪和数据采集。此外，基带处理器也可以根据接收机测量值形成 PVT 解。在一些应用中，也可用专门的微处理器同时完成 PVT 计算和相关联的导航功能。大多数处理器在 1Hz 的基础上提供独立的 PVT 解。然而，用做飞机自动着陆和其他宽动态应用的接收机，至少需要以 5Hz 的速率计算独立的 PVT 解。格式化了了的 PVT 解和其他与导航有关的数据送至 I/O 端口。

I/O 端口是 GPS 接收机和用户之间的接口。I/O 端口有两种基本类型：整装的和外置的。对于许多应用来说，I/O 端口是一个 CDU(控制显示单元)。CDU 允许操作员进行数据输入，显示出状况和导航解参数，一般还具有其他导航功能，比如输入航路点、待航时间等。大多数手持式设备有整装 CDU。其他设备，比如机载或船载设备，有可能其 I/O 是集成在已有的仪器或控制面板上的。除了到用户和操作员的接口之外，在与其他传感器(例如惯导)组合使用时，要求有数字数据接口以便输入和输出数据。通用接口采用 ARINC429、MIL-STD-1553B、RS-232 和 RS-422。

电源可以采用自备的、外接的或者两者结合的。GPS 接收机一般都具有内置的电源变换器(交流变直流或直流变直流)和电压调节器。接收机内置电池，用以在平台电源断电时，维持存储在 RAM 中的数据并运行内置的实时时钟。

一个数字 GPS 接收机方框图如图 1-9 所示。在视界内的所有卫星的 GPS 射频(RF)信号被右圆极化(RHCP)天线接收，经前置低噪声放大器(LNA)放大。接收机的噪声系数与 LNA 有关。通常在天线和 LNA 之间设置一个无源带通滤波器，以降低带外射频干扰。这些被放大的射频信号与来自本机振荡器(LO)的信号混频，下变频到中频(IF)。本地振荡器频率是根据接收机的频率设计，由基准振荡器经频率合成器产生的。每一级下变频器需要一个本地振荡器信号。下变频可以采用两级下变频、一级下变频形式，或直接在 L 频段做数字采样。本地振荡器信号在混频时会同时产生上边带和下边带信号，因此在混频器之后，采用带通滤

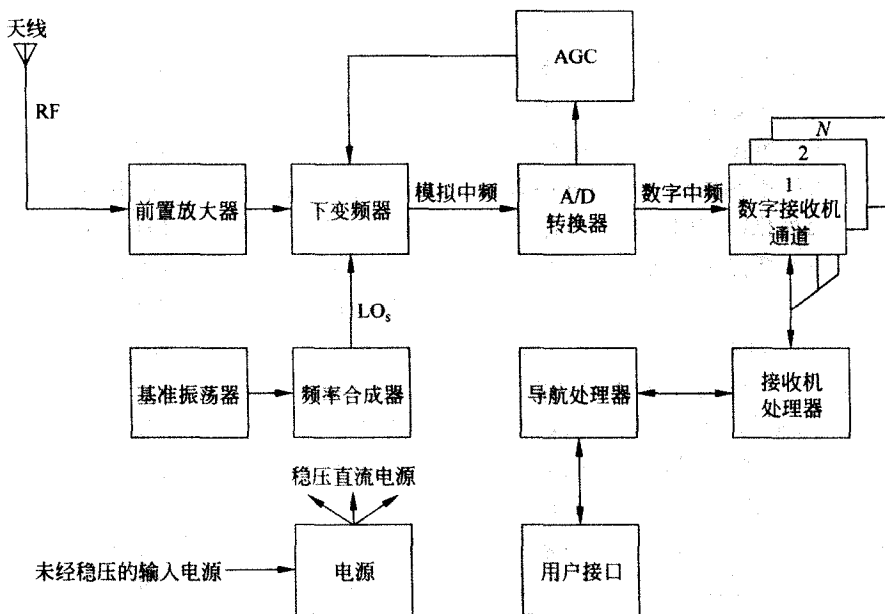


图 1-9 一个数字 GPS 接收机方框图