

射频电路:发送、接收机结构解析

发送、接收机结构

1 概述

2 接收机方案

2.1 超外差式接收机

2.2 直接下变频方案

2.3 镜频抑制接收方案

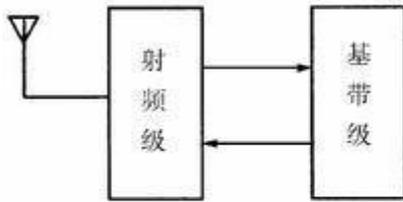
2.4 数字中频方案

3 发射机方案

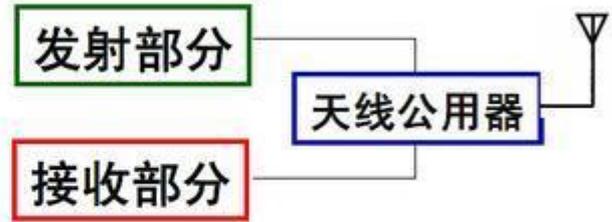
4 无线发射接收机的性能指标

发送、接收机结构

1 概述



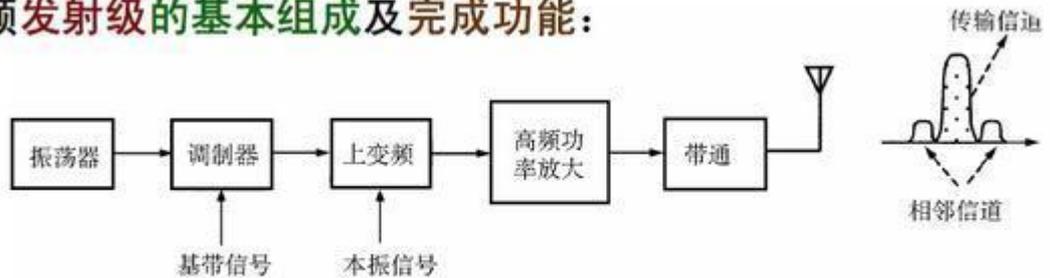
通信机基本结构



射频级基本结构

本章**主要内容**：介绍发送、接收机的 { 结构方案
} 主要指标

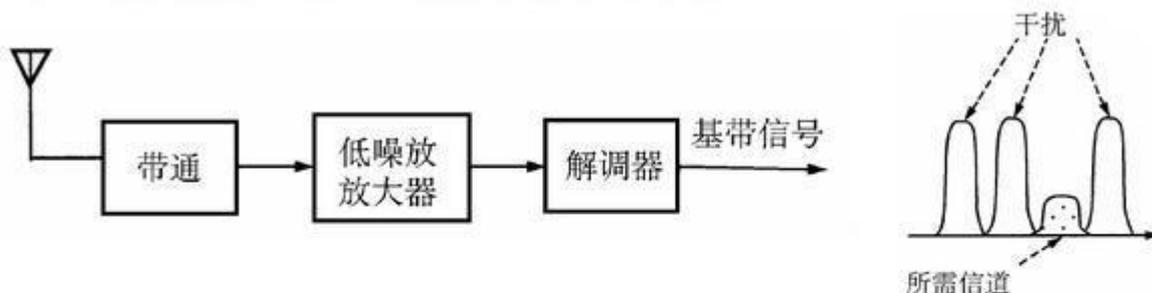
射频发射级的基本组成及完成功能：



- ① 产生正弦载波
- ② 完成基带信号对载波的调制 → 通带信号（已调波）
- ③ 将通带信号搬移到所需的频段 → 上变频
- ④ 放大到足够的功率并发射
- ⑤ 不干扰相邻信道 → 限制频带

主要指标：频谱、功率、效率

射频接收级的基本组成及完成的功能



- ①从众多的电波中选出有用信号 ——> 选频、滤除干扰
- ②将微弱信号放大到解调器所要求的电平值 ——> 放大
- ③将通带信号变为基带信号 ——> 解调

接收机的主要指标： 灵敏度、选择性

设计接收机和发射机的射频部分时应解决的关键问题

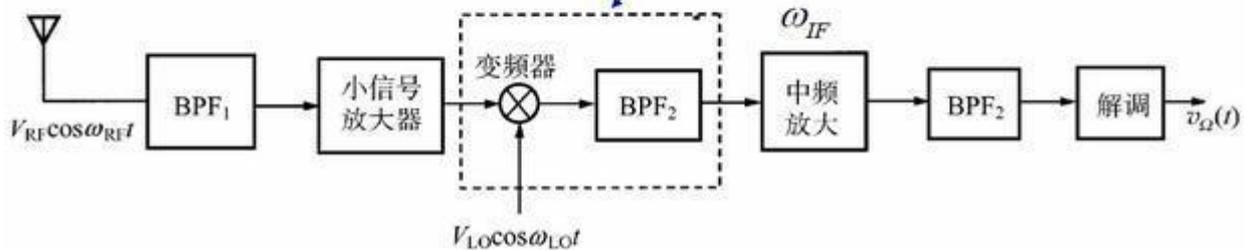
- ① 选用合适的调制和解调方式
抗干扰性能好、频带利用率高、功率有效性好
- ② 接收机选出有用信道抑制干扰
难点——已调信号载频高、信道窄
- ③ 接收机的灵敏度和线性动态范围
- ④ 发射机的高效率不失真的功率放大器
- ⑤ 限制发射信号对相邻信道的干扰
- ⑥ 天线收发转换器的损耗小，隔离性好

2 接收机方案

2.1 超外差式接收机

关键部件：下变频器

1. 基本结构方案



变频器功能：将接收到的射频不失真的降低为一个固定的中频

- 特点：
- ① 频率降低
 - ② 频谱结构不变



为什么要将接收到的射频频率降低？

(1) 为了解决选择性

两个概念 $\left\{ \begin{array}{l} \text{频带} \\ \text{信道} \end{array} \right.$

GSM通信系统

上行频带：890 ~ 915MHz (移动台发、基站收)

下行频带：935 ~ 960MHz (移动台收、基站发)

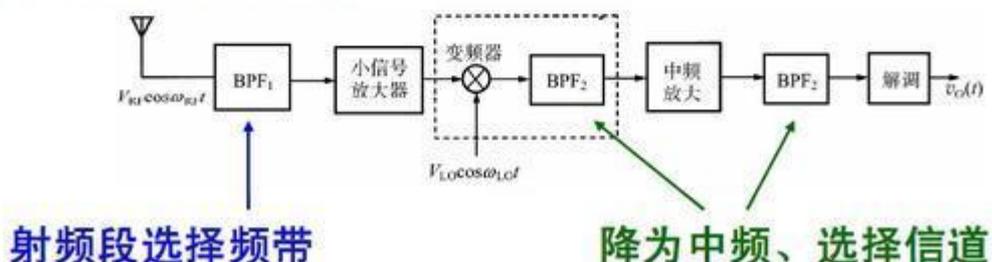
信道：200KHz

特点：
信道远比
载频小

结果：射频段选择信道非常困难

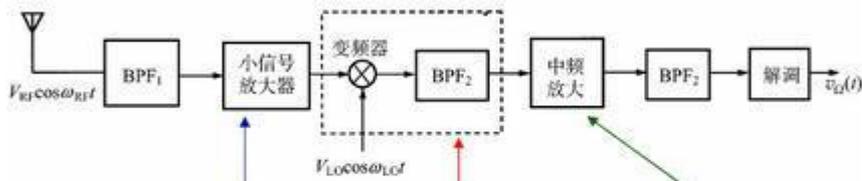
→ 要求滤波器Q值极高

措施：降低频率选信道



(2) 为使接收机达**稳定的高增益**

天线输入电平约为 $-100 \sim -120\text{dBm}$ (μV 级) } 要求增益大于 100dB 以上
解调器输入一般要求约 500mV

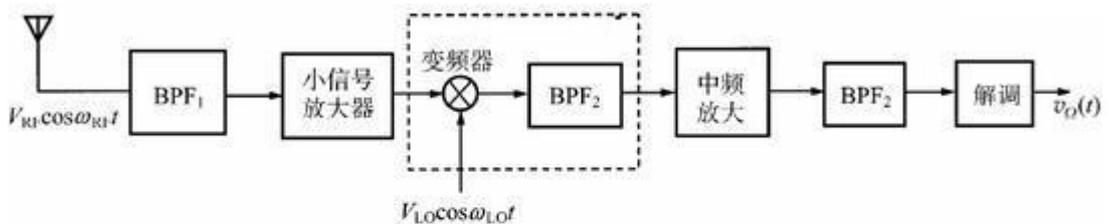


总增益 = 射频增益 + 混频增益 + 中频增益(主要增益级)

结果: ① 增益分散在各频段, 易稳定
② 中频频率低且固定, 增益易大而稳定

(3) 在较低的固定中频上解调或A/D变换也相对容易

超外差接收机各级功能



低噪声放大器——射频放大

变频器——频谱搬移

中频放大——选信道、主增益级

超外差接收机的主要缺点 ——变频器引入众多的组合频率干扰

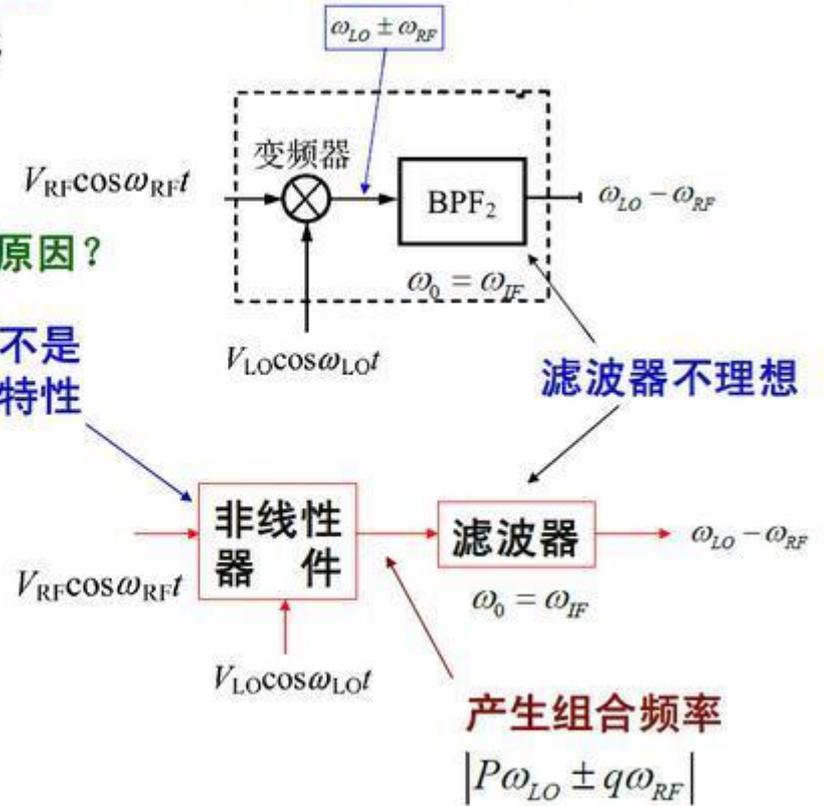
变频功能——频谱搬移

基本实现方法

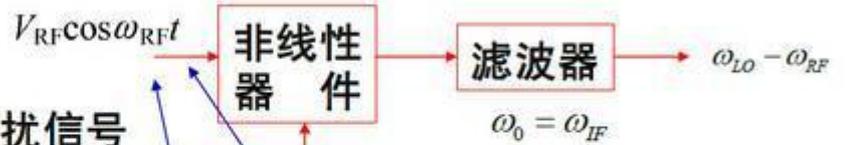
产生众多组合频率的原因？

非线性器件不是理想平方律特性

滤波器不理想



变频器引起的寄生通道干扰



① 输入端没有其它干扰信号

组合频率

$$|\omega_{LO} - q\omega_{RF}| = \omega_{IF} + \Delta F$$

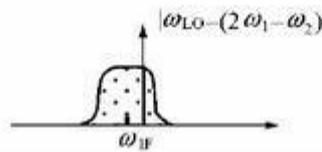
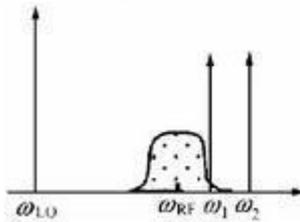
当 ΔF 小于中频带宽时，通过滤波器输出

② 当输入端伴有干扰信号时

$$V_{1m} \cos \omega_1 t$$

$$V_{2m} \cos \omega_2 t$$

组合频率 $|\omega_{LO} - (2\omega_1 - \omega_2)| \approx \omega_{IF}$ 通过滤波器输出

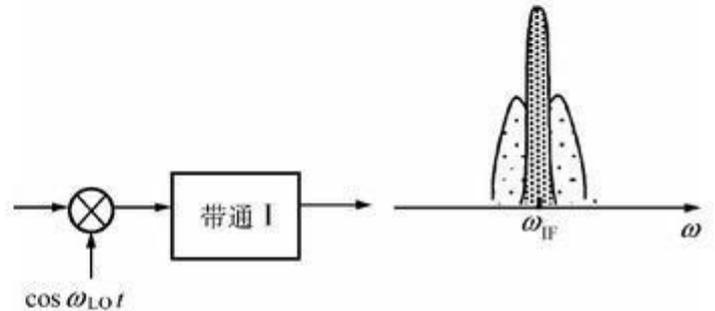
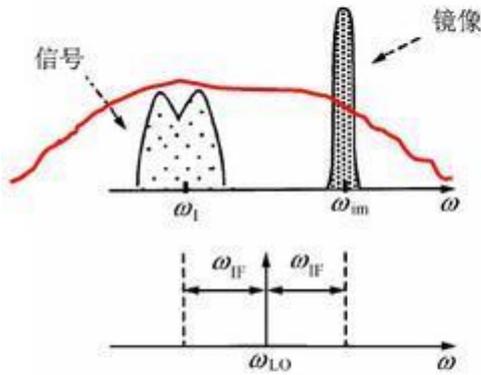


三阶互调干扰

镜像频率干扰——重要的寄生通道干扰

什么是镜像频率？

后果如何？



消除镜像频率干扰的方法：不让镜频信号进入变频器

前端滤波器滤除

滤波器实现难点？

射频滤波器通带做不窄

解决方法：提高中频

高中频和低中频的利弊

高中频——镜像频率远离有用信号，滤波容易

优点：利于抗镜频干扰

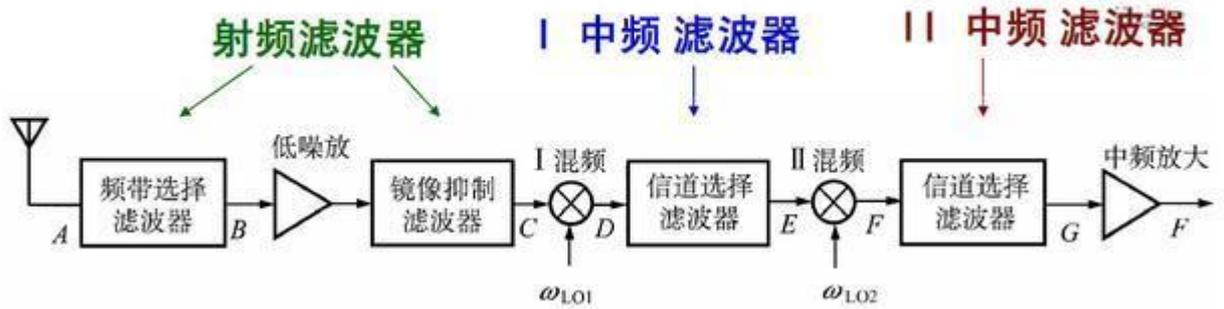
低中频——相同Q值条件下，中频滤波器窄带

优点：利于选择信道、稳定的高增益

选择
中频
兼顾
两者

两者兼顾最佳方案——超外差式二次混频方案

3.二次变频方案



中频选择原则 {

- I 中频采用高中频值，以提高镜象频率抗拒比
- II 中频采用低中频值。利于提取有用信道抑制邻道干扰

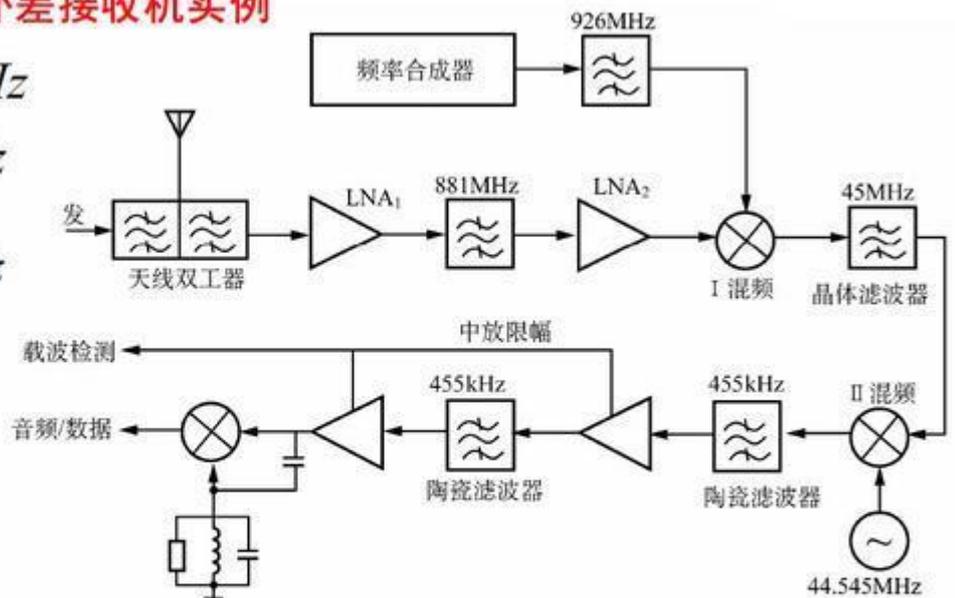
总增益 = 低噪放增益 + I 中频增益 + II 中频增益
(主要增益级)

二次混频超外差接收机实例

$$f_{RF} = 881MHz$$

$$f_{IF1} = 45MHz$$

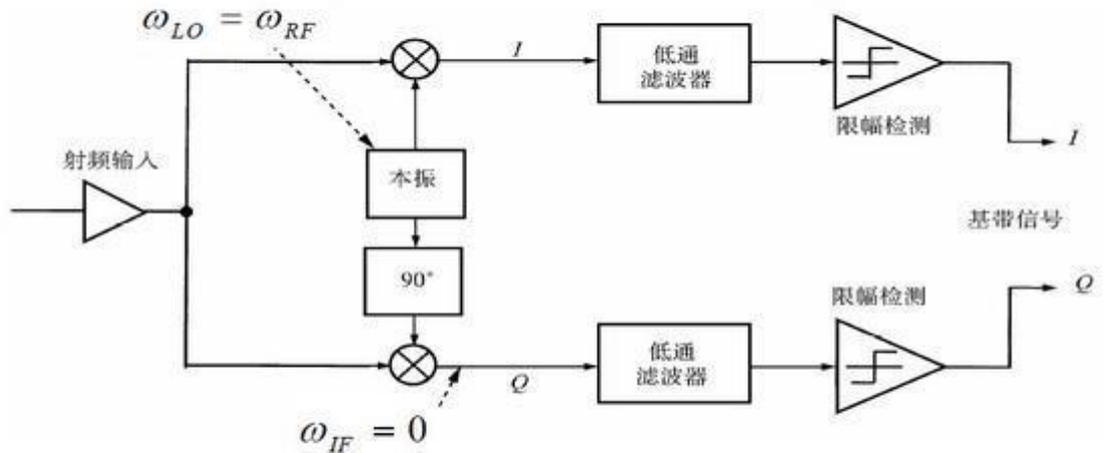
$$f_{IF2} = 455KHz$$



$$f_{LO1} = 881 + 45 = 926MHz \quad f_{LO2} = 45 - 0.455 = 44.545MHz$$

2. 2直接下变频方案（零中频方案）

方案特点：中频为 $\omega_{IF} = 0$



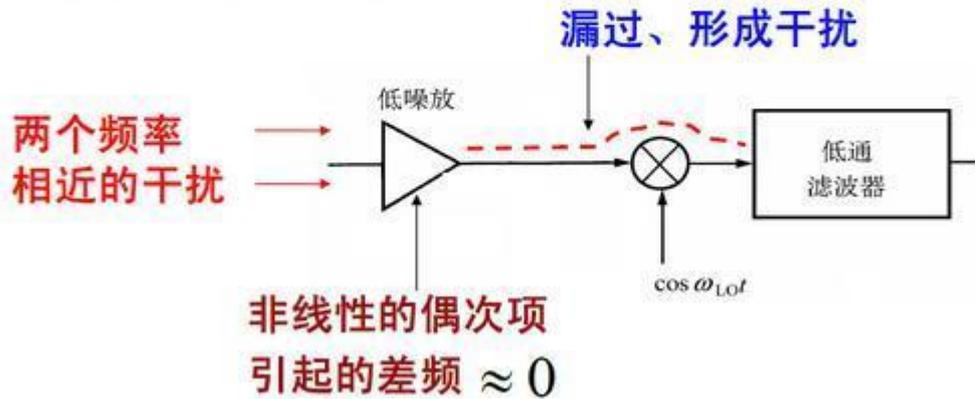
- 方案优点：
- ① 不存在镜像频率，无镜频信号干扰
 - ② 可用低通滤波器选择信道
 - ③ 易解决匹配、线性动态范围等问题

直接下变频方案存在的问题

1. 本振泄露

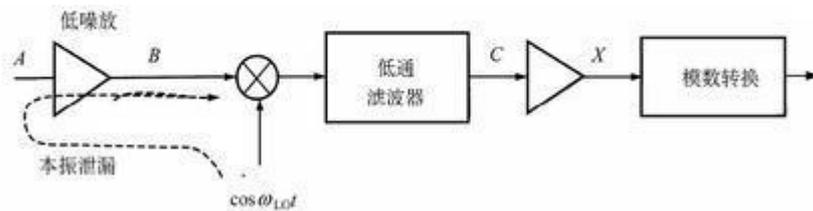
关键原因: 本振频率与信号频率相同

2. LNA偶次谐波失真干扰



3. 直流偏差

① 由本振泄漏引起的直流偏差



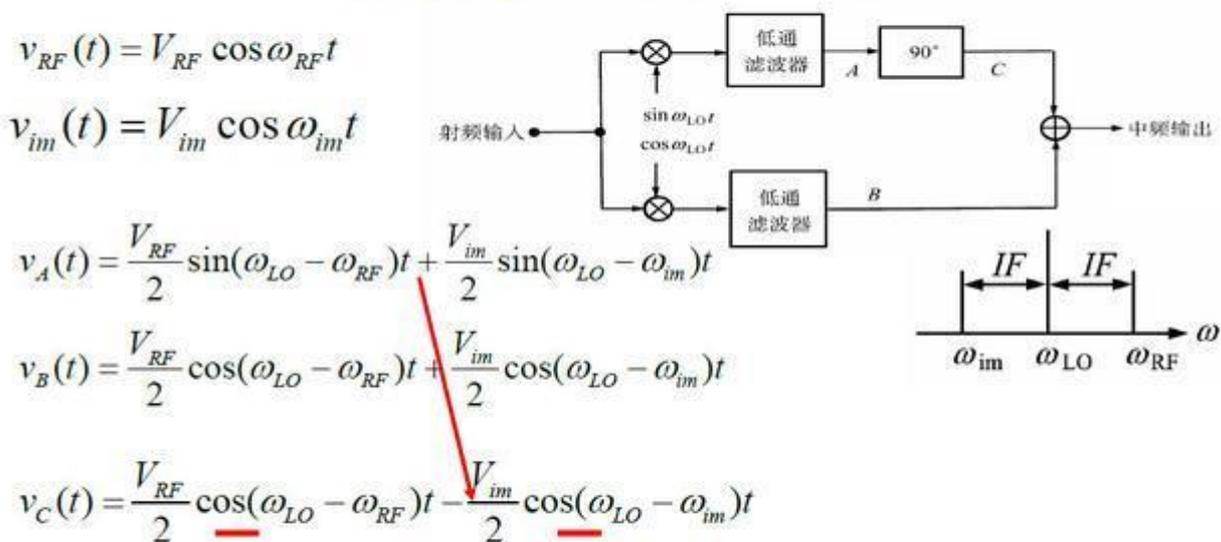
② 强干扰的自混频引起的直流偏差



4. $\frac{1}{f}$ 噪声影响

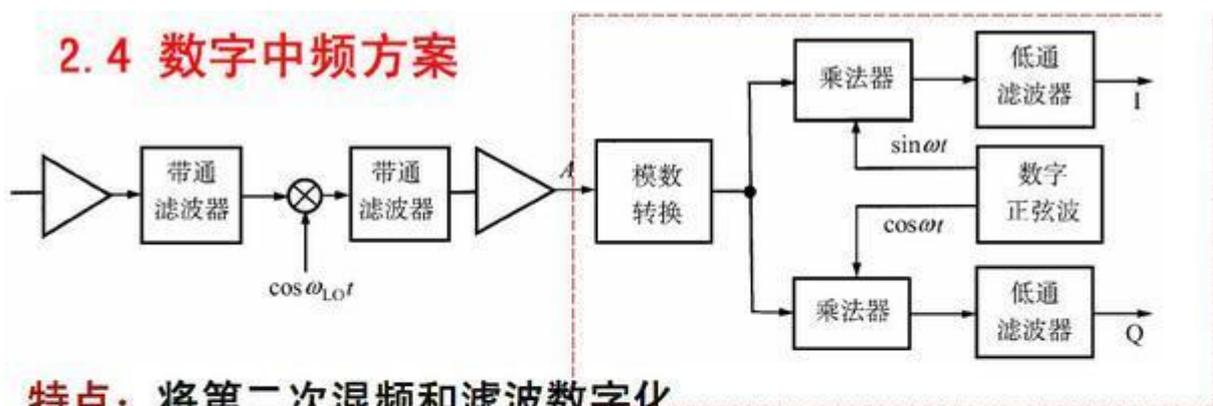
2.3 镜频抑制接收方案

特点：利用电路结构形式改变，抑制镜像频率干扰



$v_{IF}(t) = v_C(t) + v_B(t) = V_{RF} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t$ 输出抑制了镜像频率

2.4 数字中频方案



特点：将第二次混频和滤波数字化

优点：可避免I/Q两路的不一致

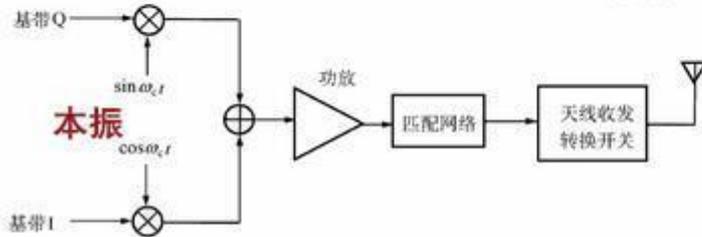
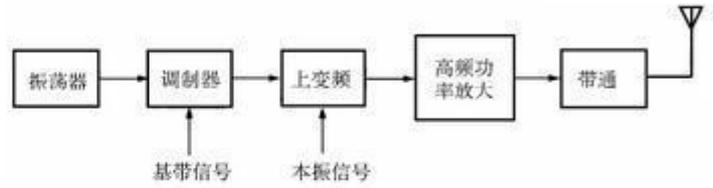
难点：对A/D变换器要求很高

转换速度快、较高的分辨率和较小的噪声、线性度很高、有较大的动态范围。

Example 1

3 发射机方案

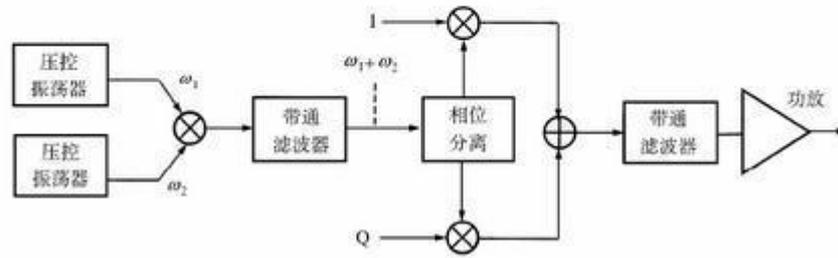
一. 直接变换法



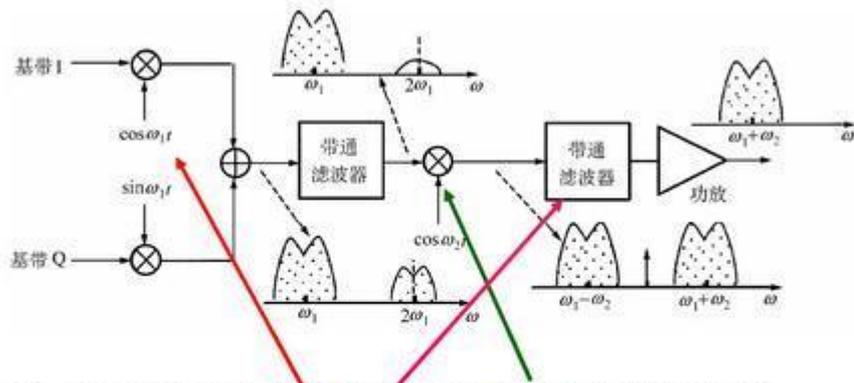
调制和上变频合一
在发射频率上调制

缺点: 发射频率 = 本振频率, 发射的强信号会影响本振源

改进



二. 两步法



特点: 在较低的频率上**调制**，再**上变频**到发射频率

优点: 较低频率处调制容易，正交两支路易一致

缺点: 对**上变频滤波器**要求高

4 无线发射接收机的性能指标

GSM系统的主要性能

- (1) 发射频率：移动台发送 890~915MHZ
基站发送 935~960MHZ
- (2) 双工间隔：45MHZ
- (3) 载波信道间隔：200KHZ
- (4) 多址方式：时分多址（TDMA）/频分多址（FDMA）
- (5) 调制方式：最小偏移调制（GMSK）
- (6) 信道比特率：42kbps

1. 发信机技术指标

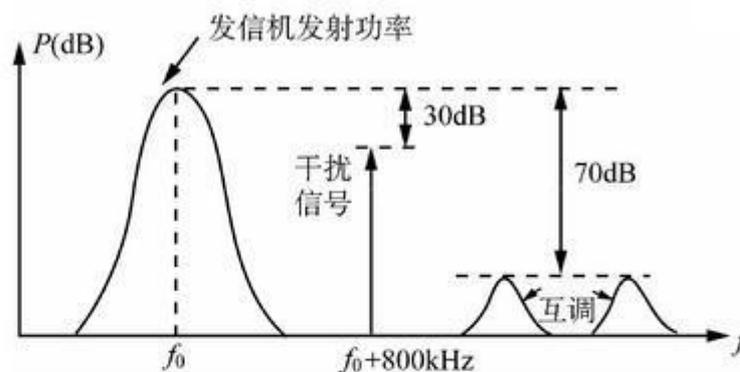
- (1) 平均载频功率 例：移动台 0.8W (29dBm)
- (2) 发信载频包络
- (3) 射频功率控制
- (4) 射频输出频谱

调制谱性能	相对载波功率 (dB)					瞬态频谱性能	允许的最大电平			
	相对载频的偏移 (KHZ)						相对载频的偏移 (KHZ)			
	100	200	250	400	600~1800		400	600	1200	1800
	+0.5	-30	-33	-54	-54	-23 dBm	-26 dBm	-32 dBm	-36 dBm	

(5) 杂散辐射

9KHZ~1GHZ	1~12.75GHZ	935~960MHZ
250nW (-36dBm)	1μW (-30dBm)	4PW (-84dBm)

(6) 互调衰减



(7) 相位误差

一个时隙内，相位误差的方均根应不大于 5° ，峰值小于 20°

(8) 频率精度 0.1ppm (1×10^{-7})

2. 接收机指标

(1) 灵敏度

(2) 阻塞和杂散响应抑制

(3) 互调响应抑制

(4) 邻道干扰抑制

(5) 杂散辐射

(1) **灵敏度**：静态 -102dBm ， $\text{BER}10^{-5}$ （仅列举一个数据）

(2) **阻塞**： $113\text{dB}\mu\text{V}$

(3) **互调特性**： $70\text{dB}\mu\text{V}$ (-43dBm)

(4) **杂散抑制**： $70\text{dB}\mu\text{V}$

(5) **杂散发射**： $9\text{KHZ} \sim 1\text{GHZ} \leq 20\text{nW}$ (-57dBm)

$1 \sim 12.75\text{GHZ} \leq 20\text{nW}$ (-47dBm)

3.系统指标分配与计算

电路设计前，必须进行的三个方面的工作

1. 合理确定接收机、发射机的整机指标

依据：通信环境、通信距离、工作频段、调制方式等一系列因素

2. 将系统指标分配到各个单元模块，定出单元模块合理的指标值

分配原则： ① 根据各部件的物理可实现性，
②根据每个部件的指标对整机的影响

3. 在选定了各模块的集成电路芯片后，

根据这些已定器件的指标验证整机的指标性能是否合格

Example

2\3\4

超外差式收音机原理

一、 超外差原理

1. 声波：人们说话时，声带的振动引起周围空气共振，并以340米/秒的速度向四周传播，称为声波。
2. 声波频率：人能够听到声波在20Hz—20kHz范围内
3. 声波传递途径：声波在媒质中传播产生发射的散射，声音强度随距离增大而衰减，远距离声波传送必须依靠载体来完成，这个载体就是电磁波。
4. 电磁波：电磁波是电磁振荡电路产生的，通过天线传到空中去，即为无线电波。电磁波的传送速度为光速（ 3×10^8 米/秒）。选择电磁波作为载体是非常理想的。
5. 无线电的发射：声波经过电声器件转换成声频电信号，调制器使高频等幅振荡信号被声频信号所调制；已调制的高频振荡信号经放大后送入发射天线，转换成无线电波辐射出去。

6. 无线电广播的接收：收音机的接收天线收到空中的电波；调谐电路选中所需频率的信号；检波器将高频信号还原成声频信号（即解调）；
7. 无线电通信（广播也属于无线电通信范畴）的发送和接收概括为互为相反的三个方面的转换过程，即：**传送信息--低频信号、低频信号--高频信号、高频信号--电磁波。**
8. 调制方式：利用无线电波作为载波，对信号进行传递，可以用不同的装载方式。在无线电广播中可分为调幅制、调频制两种调制方式。

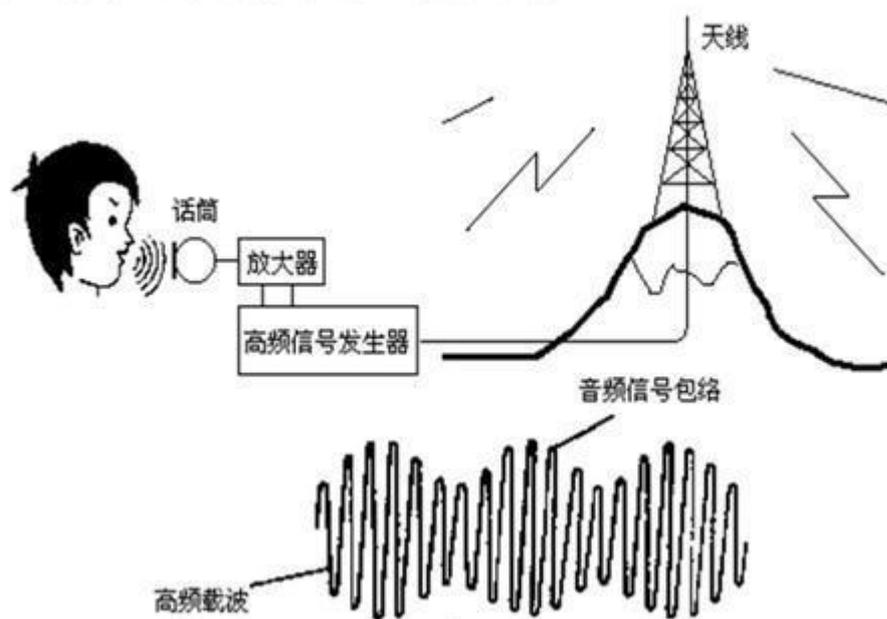
1. 振幅调制（简称调幅）

目前，调幅制无线电广播分做长波、中波和短波三个大波段，分别由相应波段的无线电波传送信号。

1. 长波（LW:Long Wave）（频率：150kHz—415kHz）
2. 中波（MW:Medium Wave）（频率：535kHz—1605kHz）
3. 短波（SW:Short Wave）（频率：1.5MHz—26.1MHz）

我国只有中波和短波两个大波段的无线电广播。中波广播使用的频段的电磁波主要靠地波传播，也伴有部分天波；短波广播使用的频段的电磁波主要靠天波传播，近距离内伴有地波。

广播电台信号的发射



2. 频率调制（简称调频）

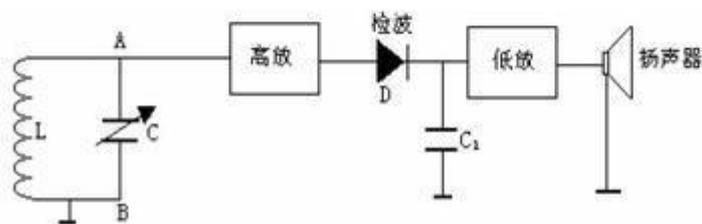
- 调频制无线电广播多用超短波(甚高频)无线电波传送信号，使用频率约为87MHz-108MHz，主要靠空间波传送信号。
- 目前，地面的广播电视分做VHF(甚高频或称米波)和UHF(特高频或称分米波)两个频段。在我国，VHF频段电视使用的频率范围是48.5MHz-300MHz，划分成1-12频道，UHF频段使用的频率范围是470MHz-956MHz，划分成：3-68频道。它们基本上都是靠空间波传播的。国际上规定的卫星广播电视有6个频段，主要频段是12kHz，也是靠空间波传播。
- 调频(FM)广播频率是在VHF波段中划分出的一段，规定专门用于广播。
- 电视信号的传播也采用调频方式，由于原理相近，因此可将调频收音机接收头作部分改动，使得收音机不仅能覆盖87—108MHz波段，还能达到更低频率或更高频率，这样就能接收到电视伴音。

3. 调幅和调频优缺点

	调幅 (AM)	调频 (FM)
优点	传播距离远, 覆盖面大 电路相对简单	1. 传送音频频带较宽 (100Hz—5KHz) 适宜于高保真音乐广播 2. 抗干扰性强, 内设限幅器除去幅度干扰 3. 应用范围广, 用于多种信息传递 4. 可实现立体声广播
缺点	1. 传送音频频带窄 (200Hz—2500Hz), 高音缺乏 2. 传播中易受干扰, 噪声大	1. 传播衰减大, 覆盖范围小

二、超外差收音机原理

2.1 最简收音机原理



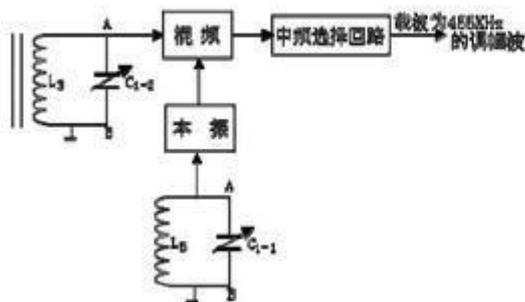
由于高放式收音机中高频放大器只能适应较窄频率范围的放大, 要想在整个中波频段 **535kHz—1605kHz** 获得一致放大是很困难的。因此用超外差接收方式来代替高放式收音机。

2.2 超外差式收音机原理

通过输入回路先将电台高频调制波接收下来，和本地振荡回路产生的本地信号一并送入混频器，再经中频回路进行频率选择，得到一固定的中频载波调制波（调幅中频国际上统一为**465kHz或455kHz**）。

超外差式收音机具有以下优点：1. 接收高低端电台（不同载波频率）的灵敏度一致；2. 灵敏度高；3. 选择性好（不易串台）。

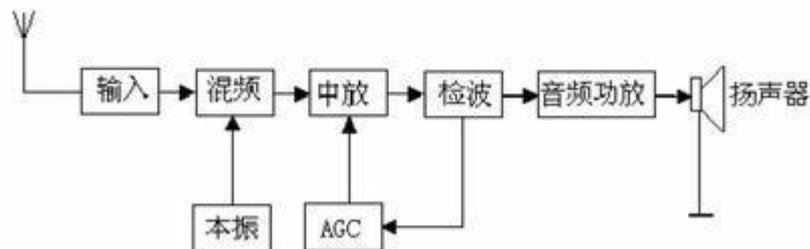
用同轴双联可变电容，使输入回路电容C1-2和本振回路电容C1-1同步变化，从而使频率差值始终保持近似一致，其差值即为中频，



- 即： $f_{\text{本振}} - f_{\text{信号}} = f_{\text{中频}}$
- 如接收信号频率是：
- 600kHz，则本振频率是1055kHz；
- 1000kHz，则本振频率是1455kHz；
- 1500kHz，则本振频率是1955kHz；

2.3 调幅 (AM) 工作原理

调幅收音机由输入回路、本振回路、混频电路、检波电路、自动增益控制电路（AGC）及音频功率放大电路组成，本振信号经内部混频器，与输入信号相混合。混频信号经中周和**455kHz**陶瓷滤波器构成的中频选择回路得到中频信号。至此，电台的信号就变成了以中频**455kHz**为载波的调幅波。如图所示。



2.4 调频 (FM) 工作原理

调频 (FM) 收音机由输入回路、高放回路、本振回路、混频回路、中放回路、鉴频回路和音频功率放大器组成。

信号与本地振荡器产生的本振信号进行FM混频，混频后输出。

FM混频信号由FM中频回路进行选择，提取以中频10.7MHz为载波的调频波。该中频选择回路由10.7MHz滤波器构成。中频调制波经中放电路进行中频放大，然后进行鉴频得到音频信号，经功率放大输出，耦合到扬声器，还原为声音。如图所示。

