

第六章 发送、接收机结构

🏠 6.1 概述

🏠 6.2 接收机方案

🏠 6.3 发射机方案

🏠 6.4 发射机的性能指标

本章主要内容：介绍发送、接收机的

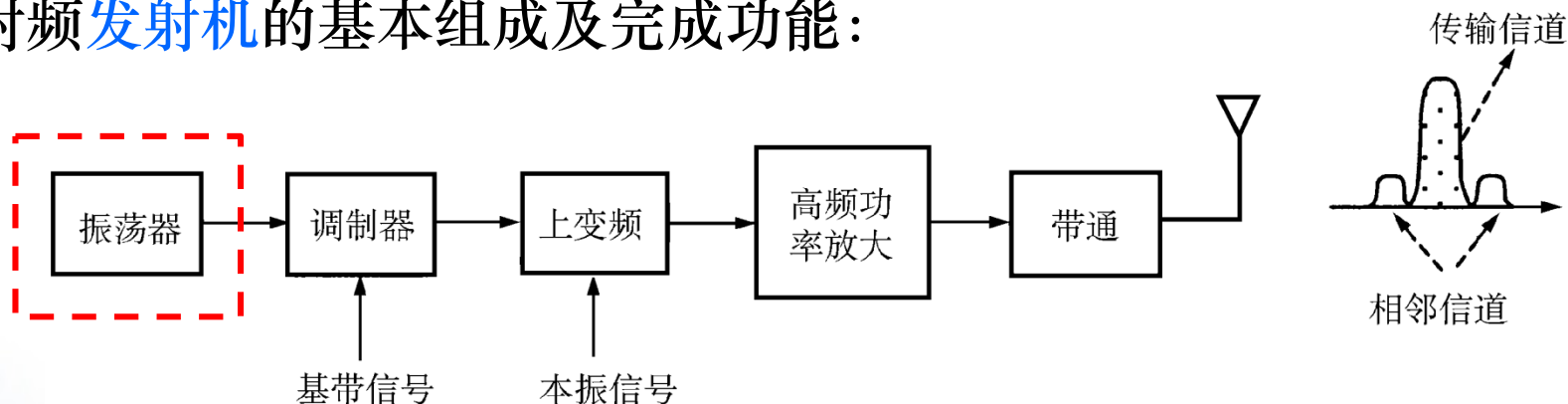
```
graph LR; A[本章主要内容：介绍发送、接收机的] --> B[结构方案]; A --> C[主要指标];
```

结构方案

主要指标

6.1 概述

射频发射机的基本组成及完成功能：

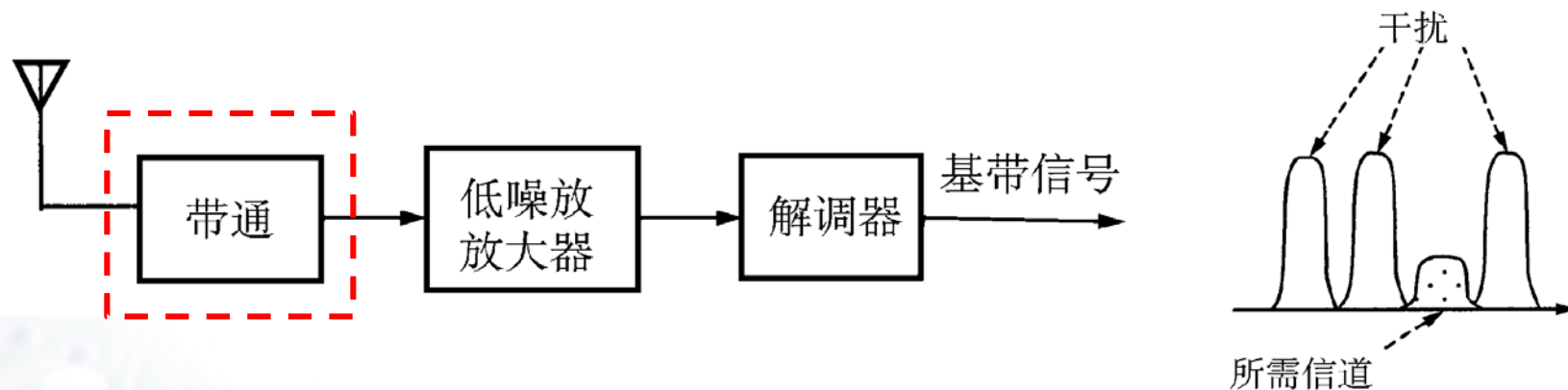


- ① 产生正弦载波
- ② 完成基带信号对载波的**调制** → 通带信号（已调波）
- ③ 将通带信号**搬移**到发送所需的频段 → **上变频**
- ④ **放大**到足够的功率以便发射
- ⑤ 不干扰相邻信道 → **限制频带**

发射机的主要指标：频谱、功率、效率、频率稳定度

6.1 概述

射频接收机的基本组成及完成功能：



- 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

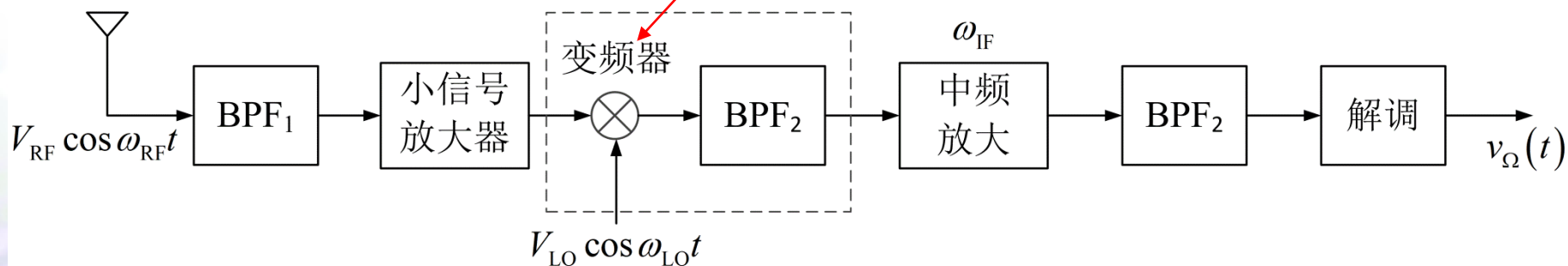
接收机的主要指标：灵敏度、选择性、增益、工作频率、系统带宽

6.2 接收机方案

6.2.1 超外差式接收机

关键部件：**下变频器**

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**



6.2.1 超外差式接收机

为什么要将接收到的射频频率降低？

(1) 为了解决**选择性**（选择频带和选择信道）

GSM通信系统

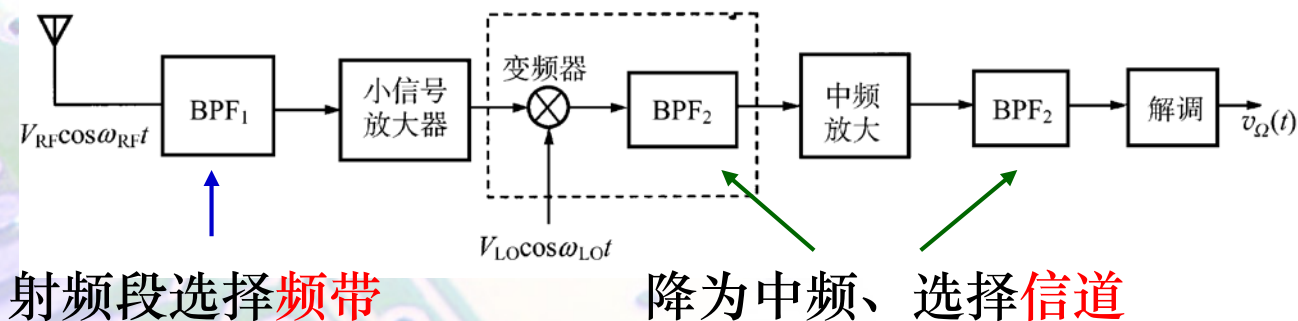
上行频带: 890 ~ 915 MHz（移动台发、基站收）

下行频带: 935 ~ 960 MHz（移动台收、基站发）

每个信道: 200 kHz

在射频直接选择某个信道非常困难

措施:



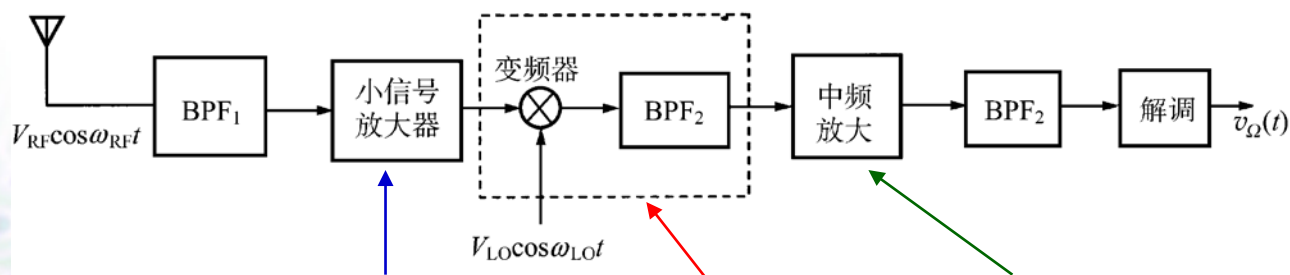
6.2.1 超外差式接收机

(2) 为使接收机达**稳定的高增益**

天线输入电平约为-100 ~ -120dBm

解调器输入一般要求约500mV

要求增益大于
100dB以上



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

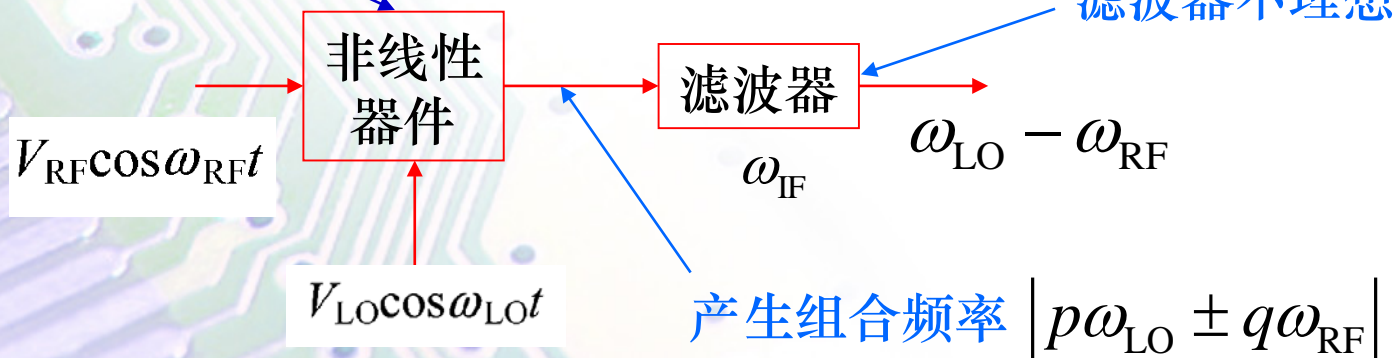
(3) 在较低的固定中频上解调或A/D变换也相对容易

6.2.1 超外差式接收机

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

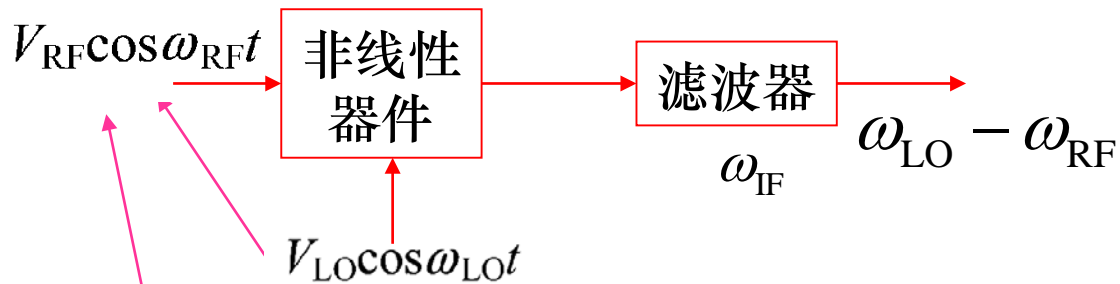
产生众多组合频率的原因?

非线性器件不是理想平方律特性



6.2.1 超外差式接收机

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

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

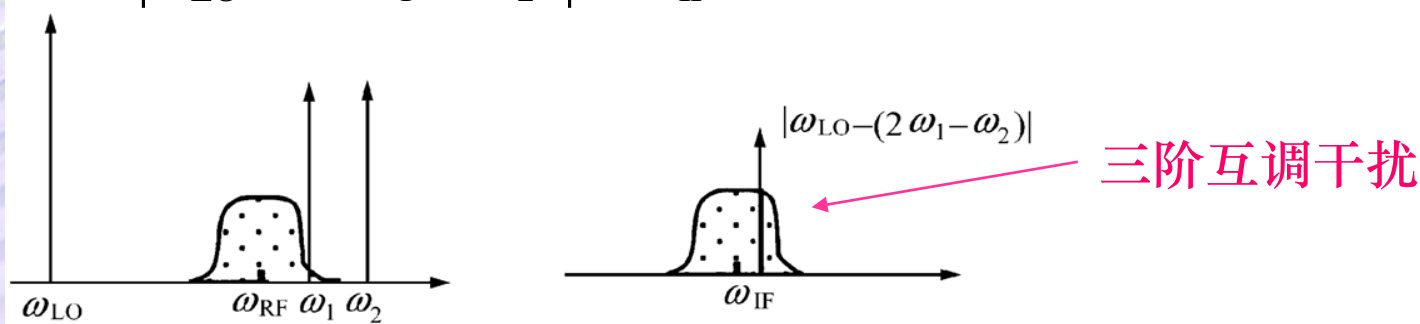
当 ΔF 小于中频带宽时，通过滤波器输出

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 $|\omega_{LO} - (2\omega_1 - \omega_2)| \approx \omega_{IF}$ 通过中频滤波器输出

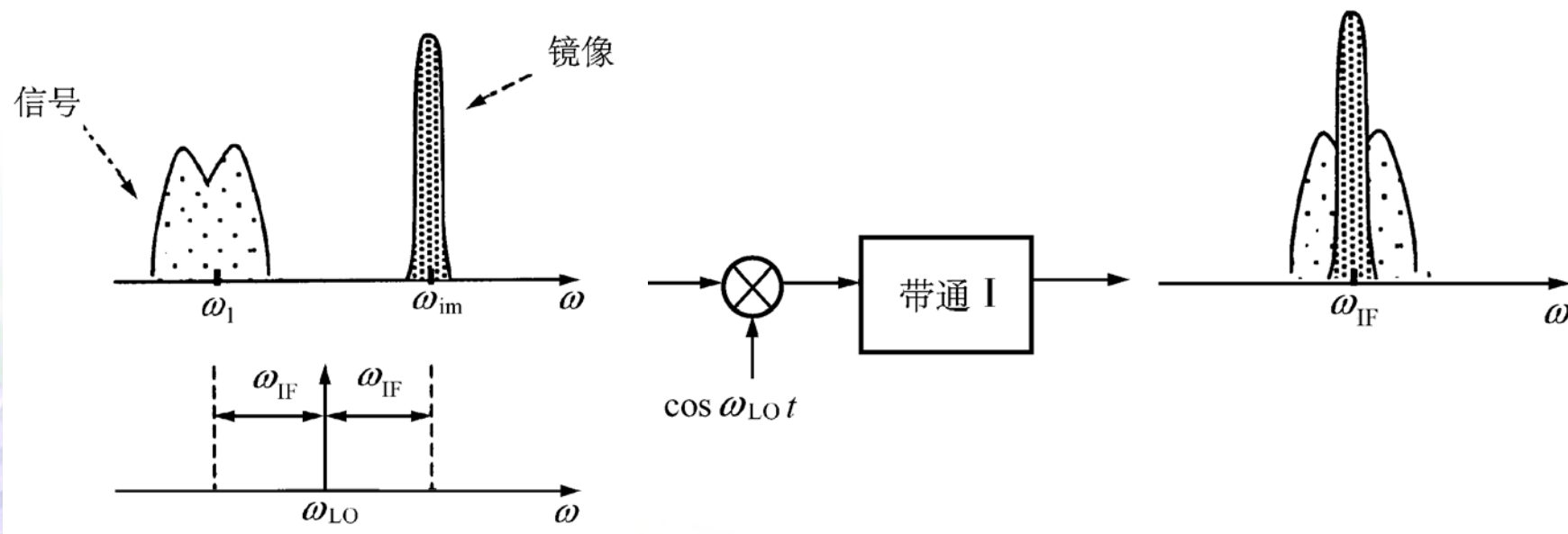


6.2.1 超外差式接收机

- **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 → 射频滤波器通带做不窄

解决方法：提高中频、采用特殊结构（镜频抑制接收方案）

6.2.1 超外差式接收机

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 —— 相同带宽要求，可以降低滤波器的 Q 值

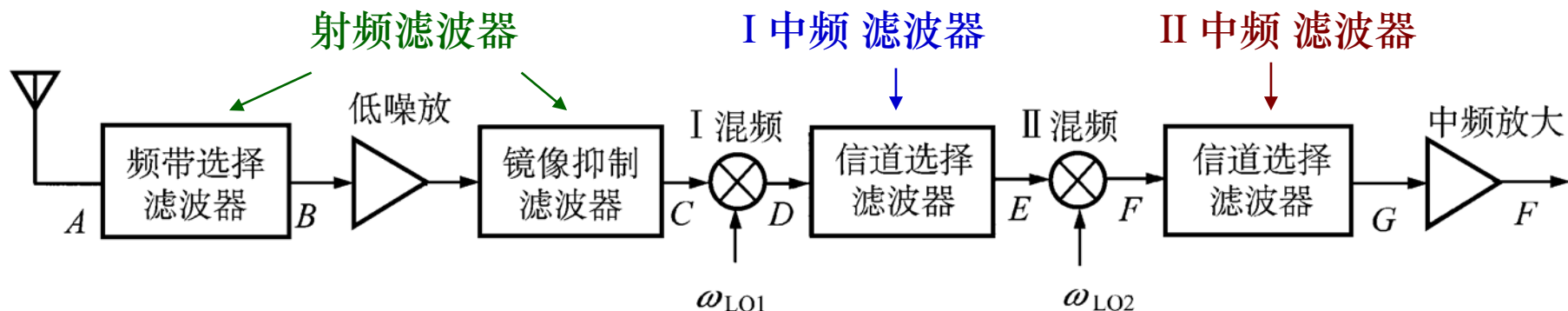
优点： 利于选择信道、稳定的高增益

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

6.2.1 超外差式接收机

● 二次变频方案



中频选择原则 {
I中频采用**高**中频值，以提高镜象频率抑制比
II中频采用**低**中频值，利于提取有用信道，抑制邻道干扰

三个滤波器的**功能、中心频率与带宽**

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

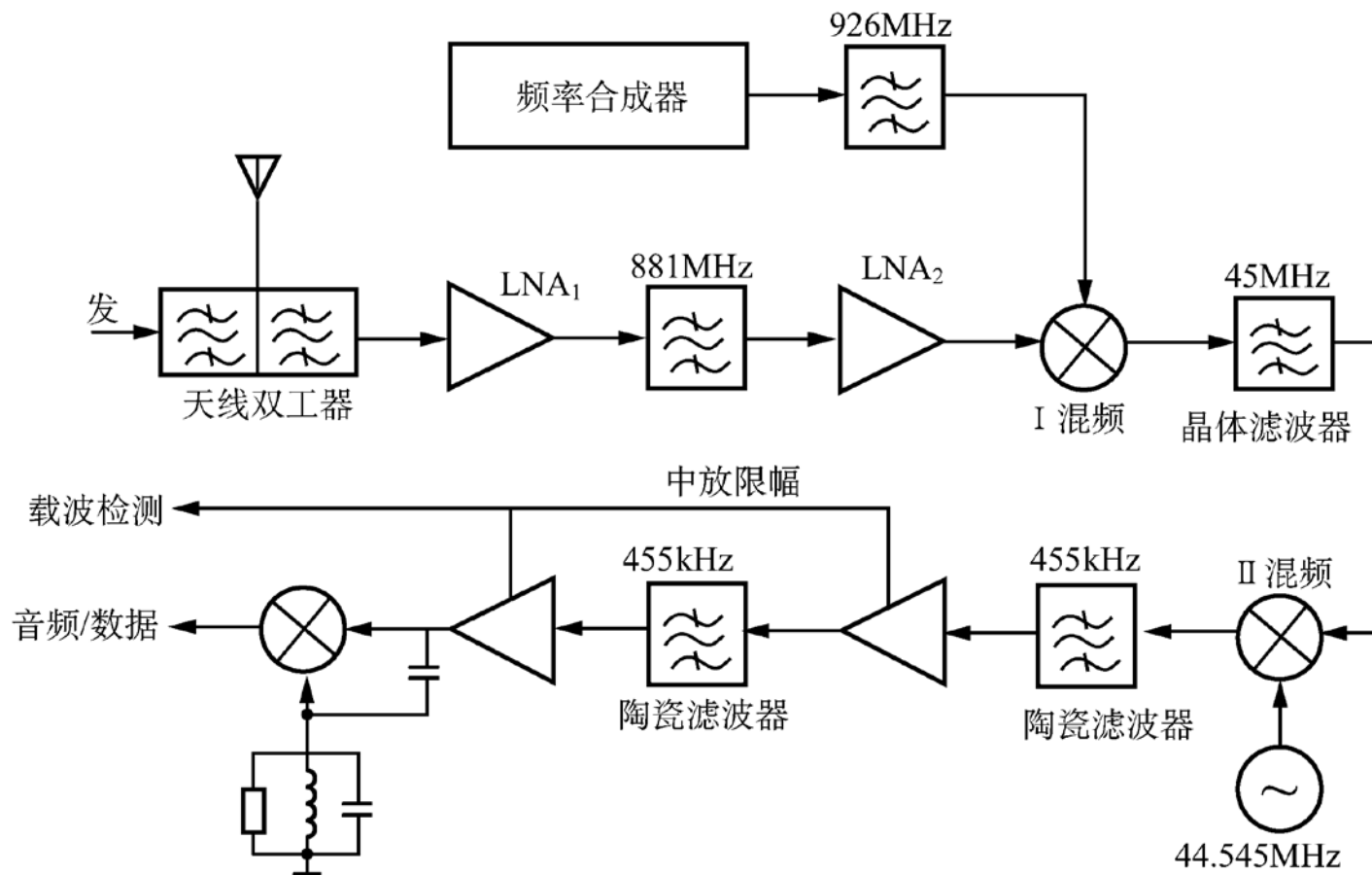
6.2.1 超外差式接收机

二次混频超外差接收机实例

$$f_{RF} = 881 \text{ MHz}$$

$$f_{IF1} = 45 \text{ MHz}$$

$$f_{IF2} = 455 \text{ KHz}$$



$$f_{LO1} = 881 + 45 = 926 \text{ MHz}$$

$$f_{LO2} = 45 - 0.455 = 44.545 \text{ MHz}$$

6.2.1 超外差式接收机

I混频：中频干扰 45 (MHz)，镜频干扰 971 (MHz)

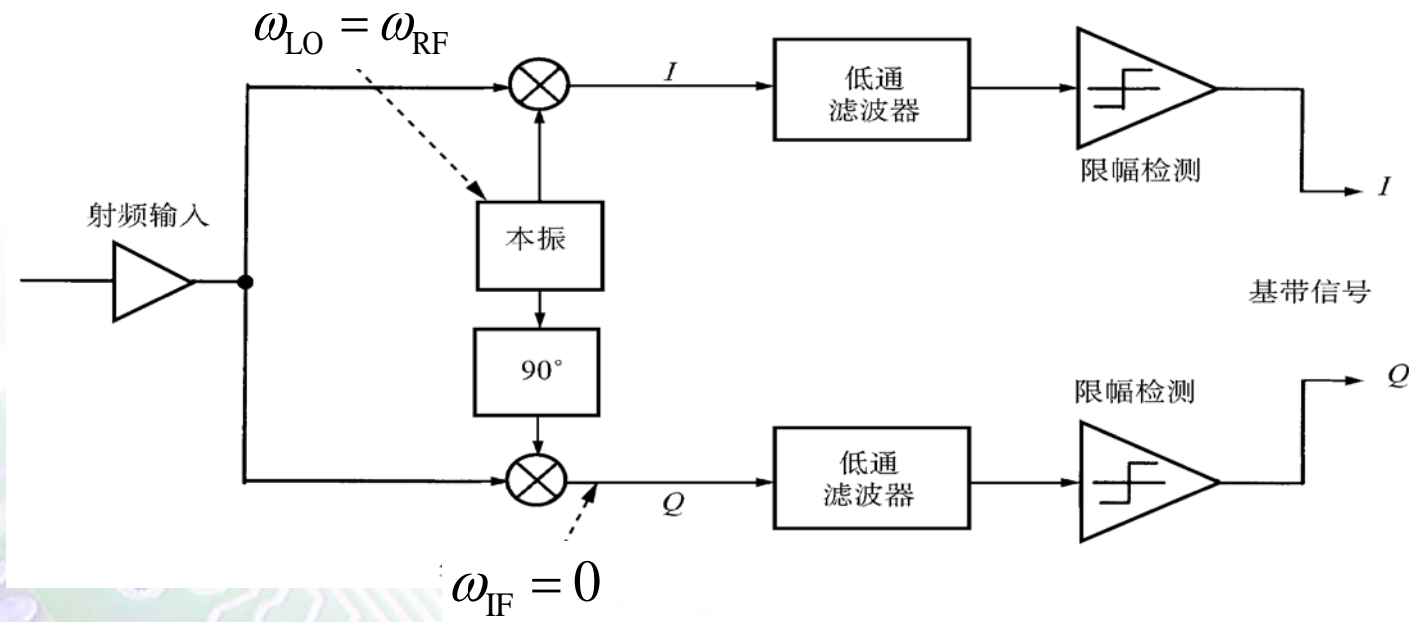


II混频：中频干扰 455 (kHz)，镜频干扰 44.09 (MHz)



6.2.2 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

6.2.3 镜频抑制接收方案

a. Hartley方案

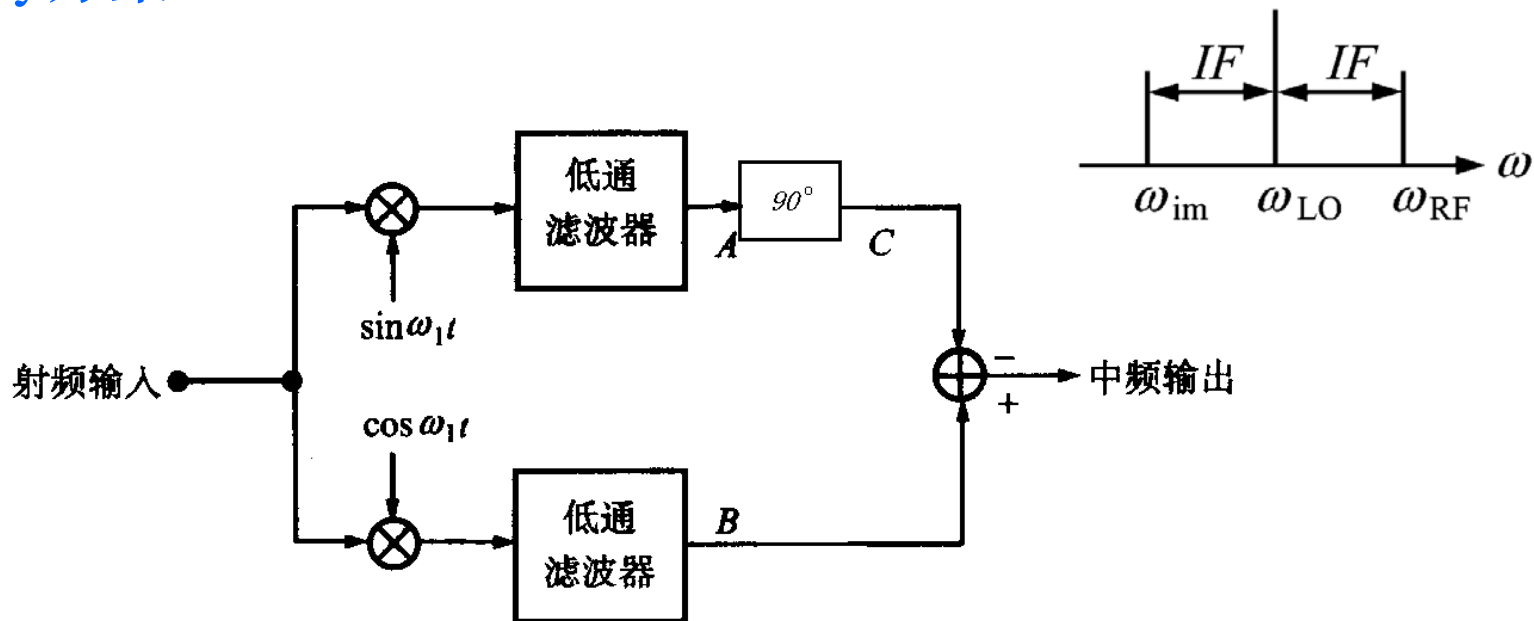


图 4.2.0 Hartley 结构镜频抑制混频器

特点：利用电路结构形式，抑制镜像频率干扰

6.2.3 镜频抑制接收方案

已知: $v_{RF}(t) = V_{RF} \cos \omega_{RF} t$, $v_{im}(t) = V_{im} \cos \omega_{im} t$

分别乘以 $\sin \omega_{LO} t$ 和 $\cos \omega_{LO} t$, 然后低通滤波, 得到

$$v_A(t) = \frac{V_{RF}}{2} \sin(\omega_{LO} - \omega_{RF})t + \frac{V_{im}}{2} \sin(\omega_{LO} - \omega_{im})t$$

$$v_B(t) = \frac{V_{RF}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t + \frac{V_{im}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{im})t$$

v_A 移相 90° (分 $\omega_{LO} - \omega_{RF} < 0$ 和 $\omega_{LO} - \omega_{im} > 0$ 两种情况)

$$v_C(t) = \frac{V_{RF}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t - \frac{V_{im}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{im})t$$

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

难度: 要求两路完全一致
 90° 移相必须准确

6.2.3 镜频抑制接收方案

b. Weaver方案

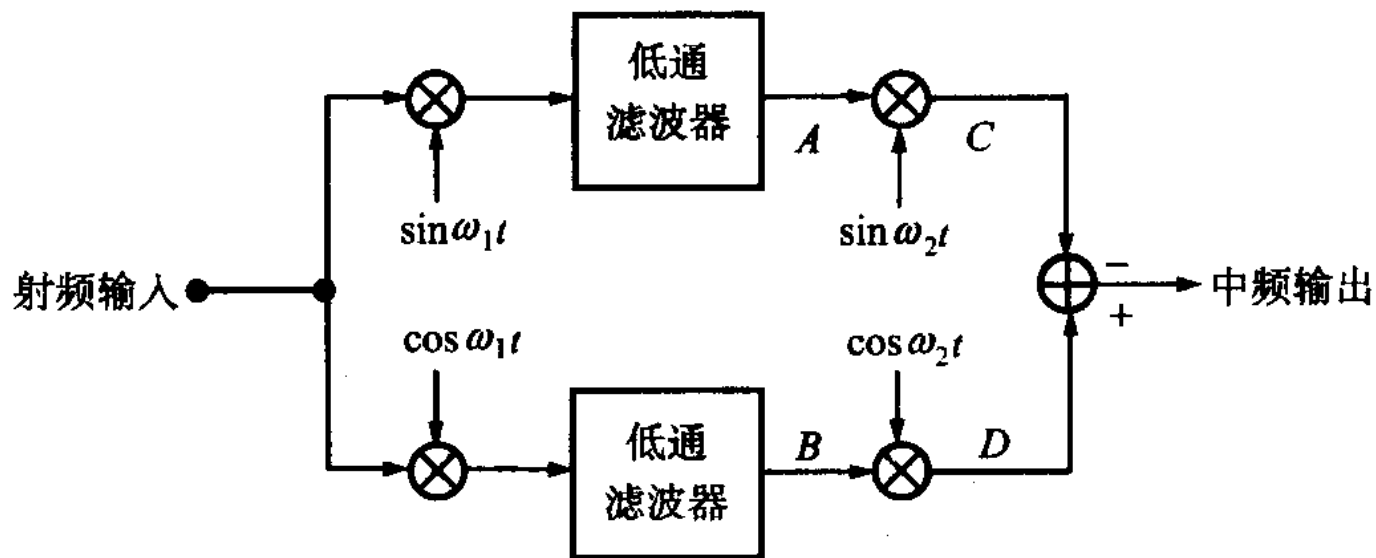


图 4.2.12 Weaver 结构镜频抑制混频器

6.2.4 数字中频方案

数字中频方案：二中频以下信号处理数字化——软件无线电

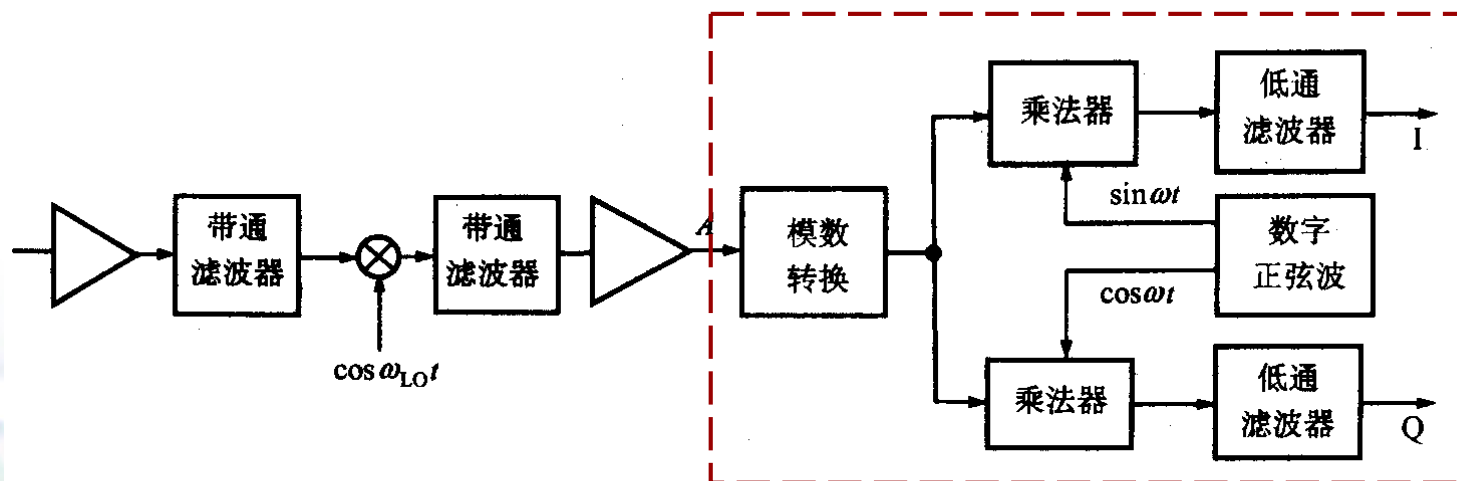


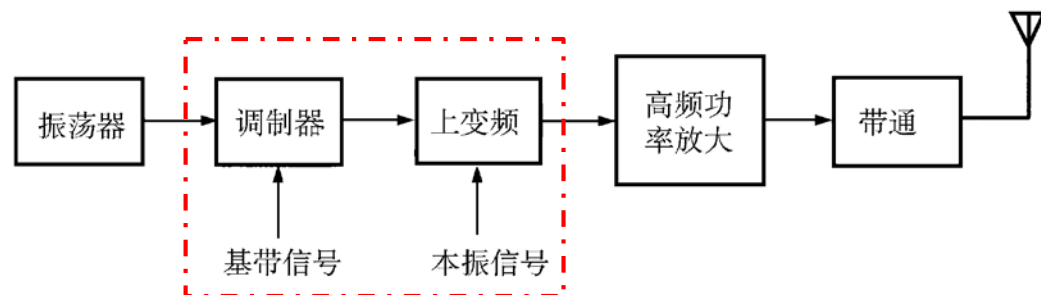
图 4.2.14 数字中频方案

优点：处理灵活，可避免I/Q两路的不一致

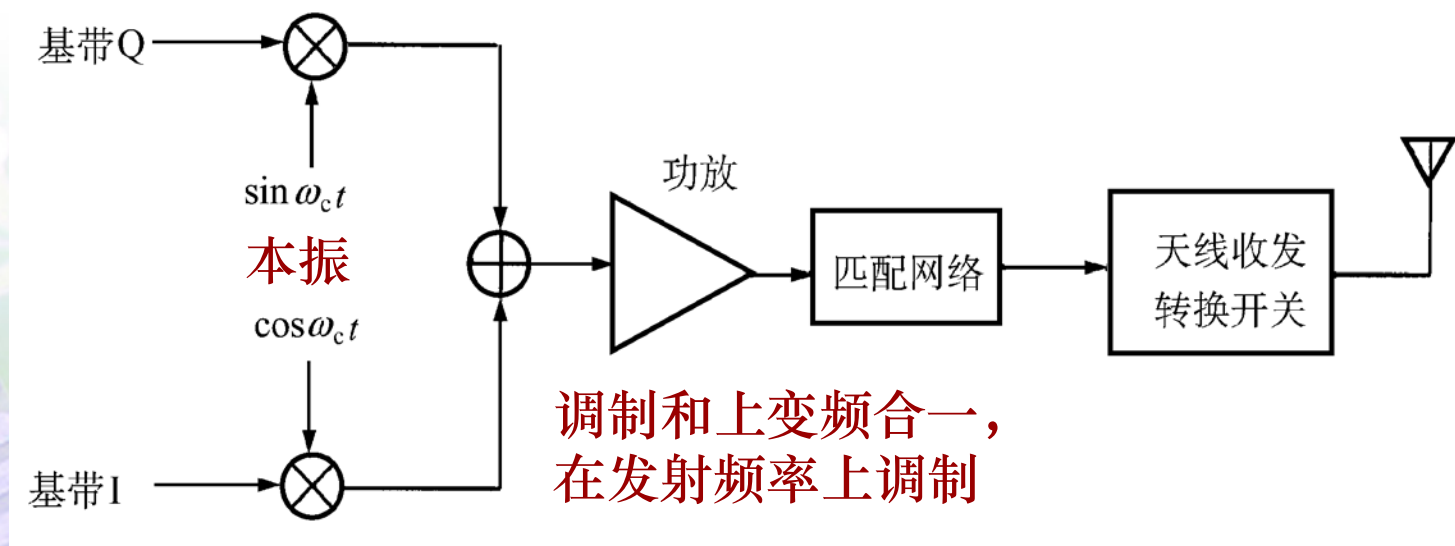
缺点：对A/D要求高

(转换速度快、较高的分辨率和较小的噪声、
线性度高、要求有较大的动态范围)

6.3 发射机方案



1. 直接变换正交调制发射机

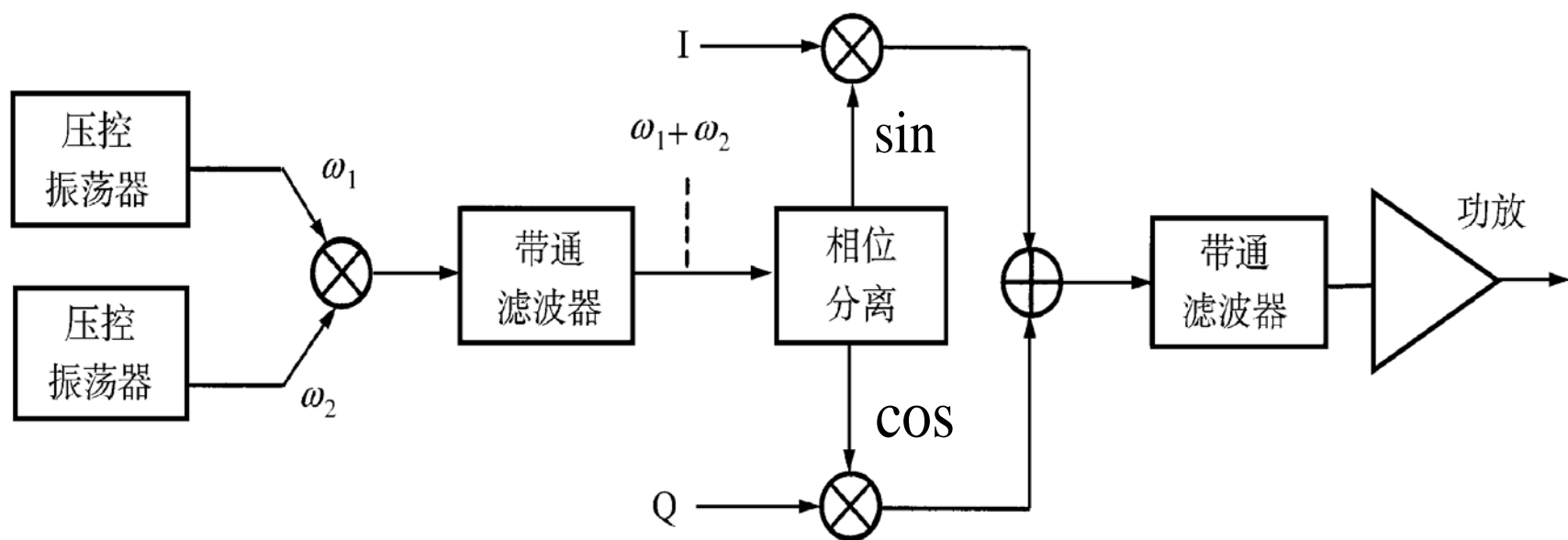


优点：结构简单

缺点：发射频率=本振频率，输出端强信号影响本振，稳定性差

6.3 发射机方案

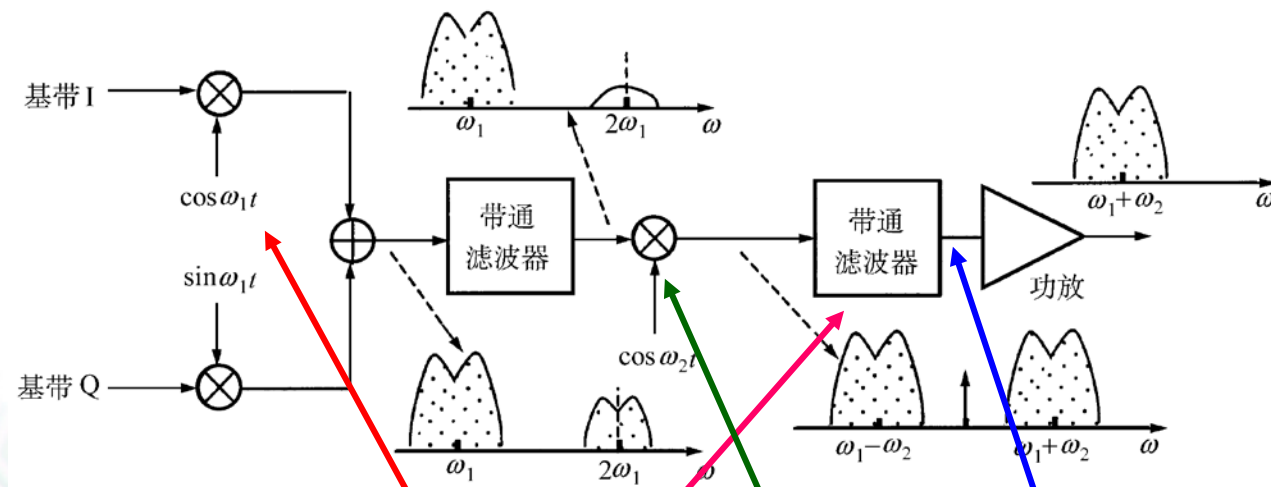
2. 双偏置本振方案



两个本振频率与输出频率差别大，不易被输出强信号干扰

6.3 发射机方案

3. 两步变换正交调制发射机



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

6.4 无线发射接收机的性能指标

1. 发信机技术指标

- (1) 平均载频功率
- (2) 发信载频包络
- (3) 射频功率控制
- (4) 射频输出频谱
- (5) 杂散辐射
- (6) 互调衰减
- (7) 相位误差
- (8) 频率精度

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

6.4 无线发射接收机的性能指标

3. 系统指标分配与计算

电路设计前，必须进行三个方面的工作：

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，定出单元模块合理指标

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

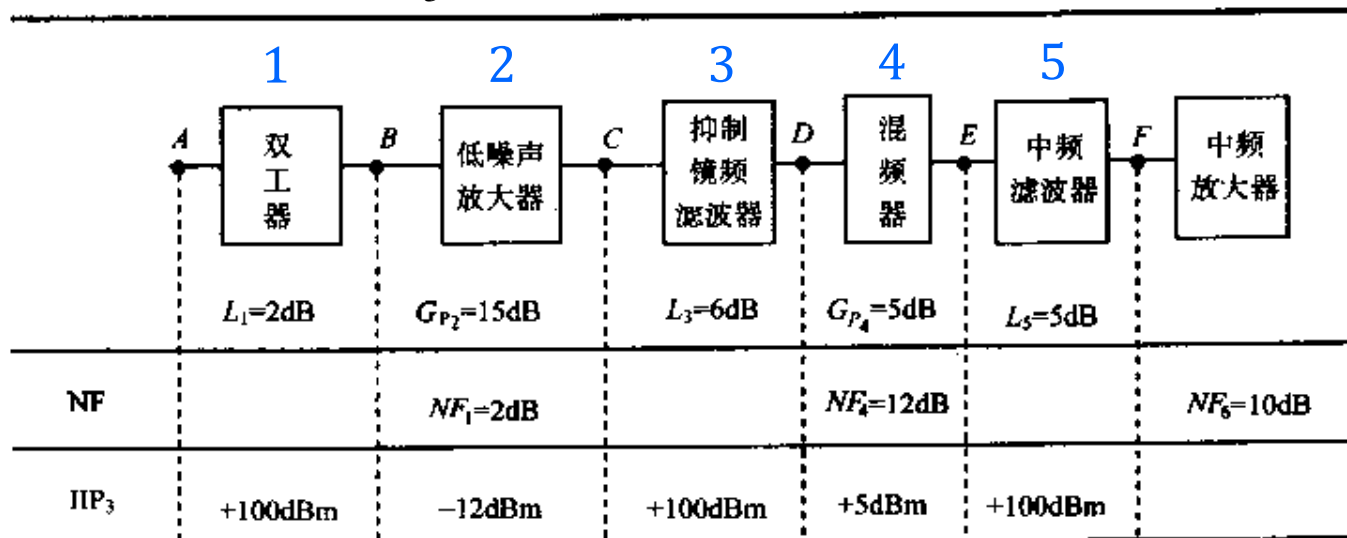
6.4 无线发射接收机的性能指标

增益计算: $G_{\Sigma} = G_{P2} + G_{P4} - L_1 - L_3 - L_5 = 15 + 5 - 2 - 6 - 5 = 7(\text{dB})$

噪声系数计算:

$$\frac{1}{\text{IIP}_3} \approx \frac{1}{(\text{IIP}_3)_1} + \frac{A_1^2}{(\text{IIP}_3)_2}$$

三阶互调截点输入功率 IIP_3 计算:



本章要点

- 掌握超外差接收机的基本原理和结构
- 了解针对镜频干扰采取的措施
- 了解发射机的基本实现方案
- 了解系统指标的计算方法

思考题：

1. 超外差接收机的基本结构为何？有什么优缺点？
2. 镜频干扰频率远离有用信号频率，为什么还能通过BPF1到混频器输入端？请简述采用二次混频方法减小镜频干扰的原理。