

第四章 发送、接收机结构

4.1 概述

4.2 接收机方案

4.3 发射机方案

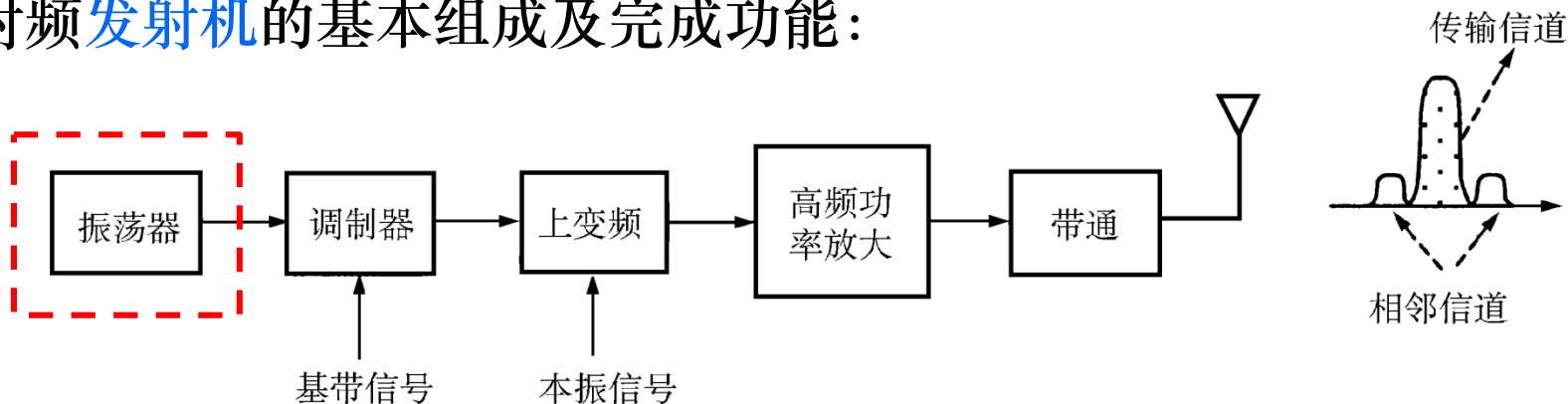
4.4 发射机的性能指标

本章主要内容：介绍发送、接收机的

- 结构方案
- 主要指标

4.1 概述

射频发射机的基本组成及完成功能：

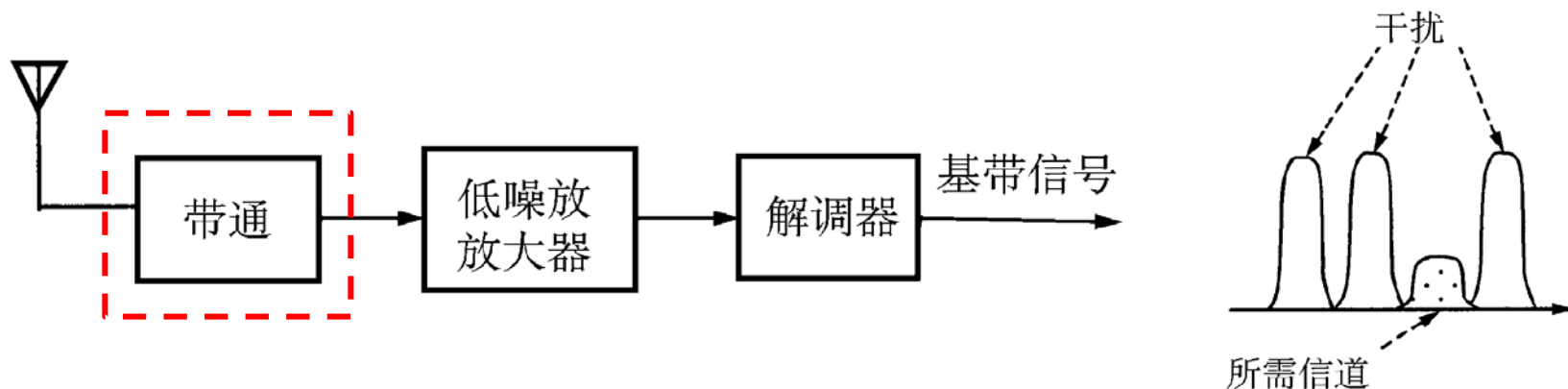


- ① 产生正弦载波
- ② 完成基带信号对载波的调制 → 通带信号（已调波）
- ③ 将通带信号搬移到发送所需的频段 → 上变频
- ④ 放大到足够的功率以便发射
- ⑤ 不干扰相邻信道 → 限制频带

发射机的主要指标：频谱、功率、效率、频率稳定度

4.1 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

4.1 概述

设计接收机和发射机的射频部分时**应考虑的因素**：

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 接收机选出有用信号、抑制干扰信号

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

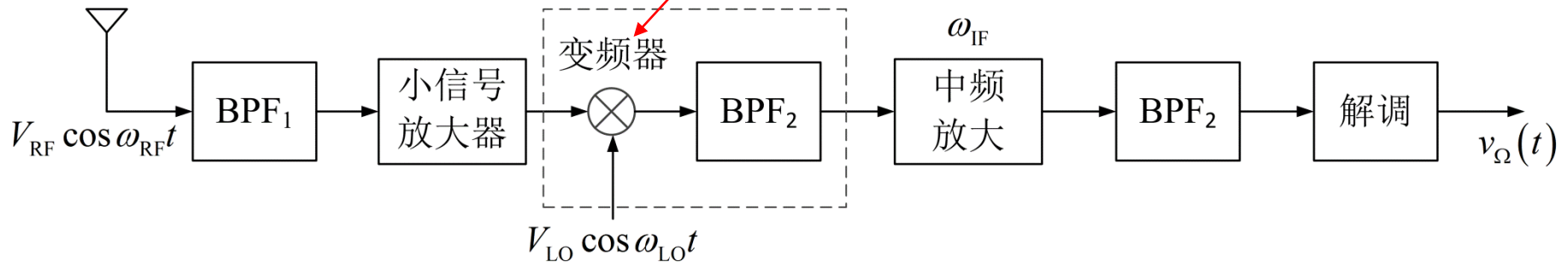
⑥ 天线收发转换器的损耗小，隔离性好

4.2 接收机方案

4.2.1 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**



4.2.1 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

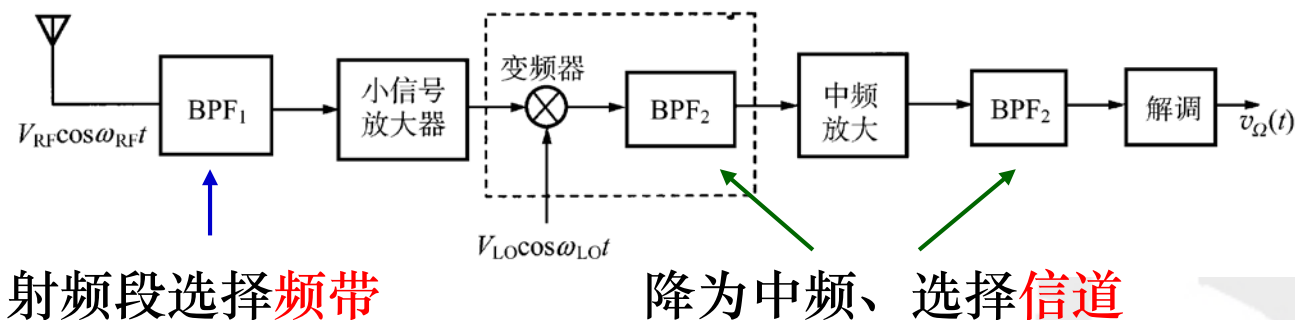
上行频带: 890 ~ 915 MHz（移动台发、基站收）

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:



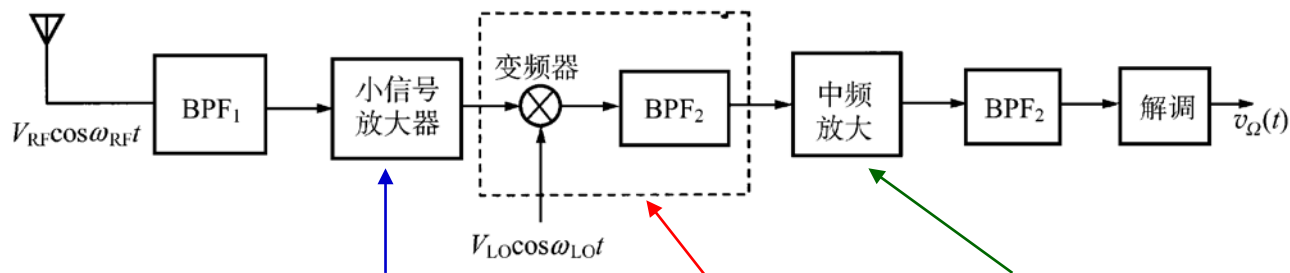
4.2.1 超外差式接收机

(2) 为使接收机达**稳定的高增益**

天线输入电平约为 $-100 \sim -120\text{dBm}$

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

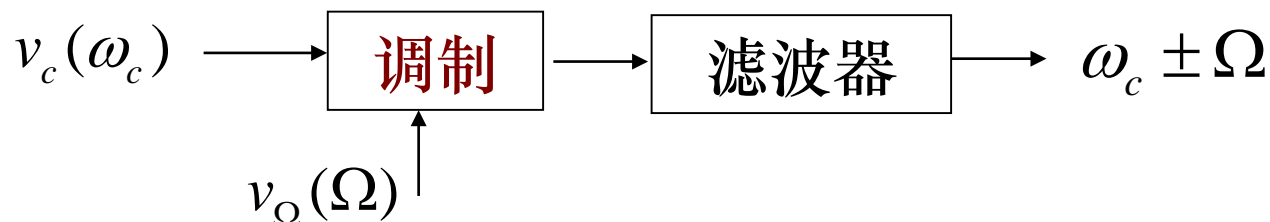
② 中频频率低且固定，增益易大而稳定

(3) 在较低的固定中频上解调或A/D变换也相对容易

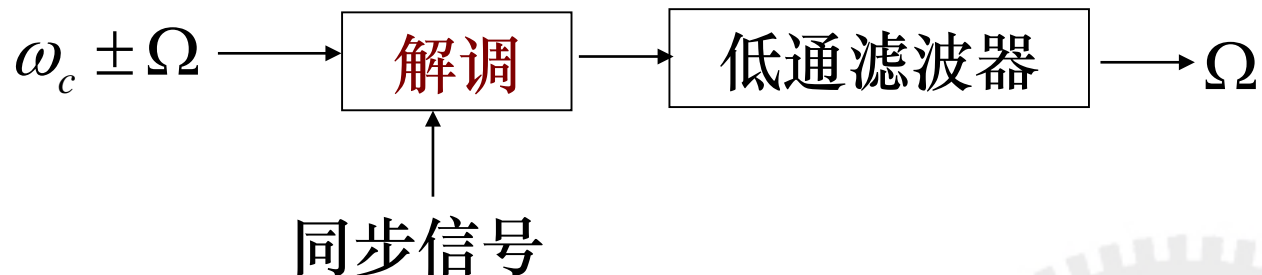
2.8 非线性器件在频谱搬移中的应用

什么是频谱搬移?

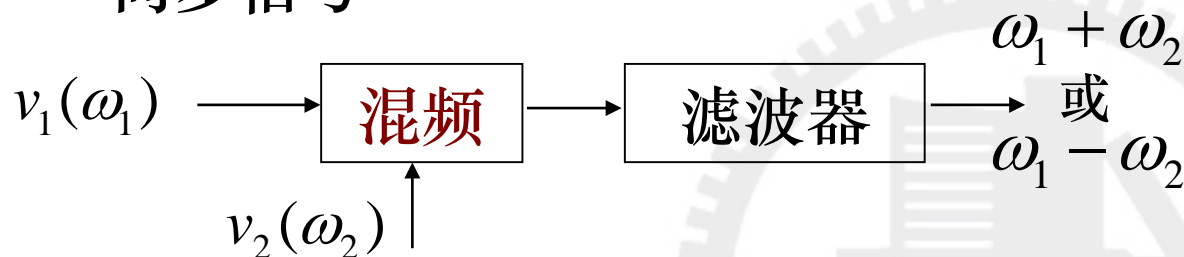
1. 调制



2. 解调



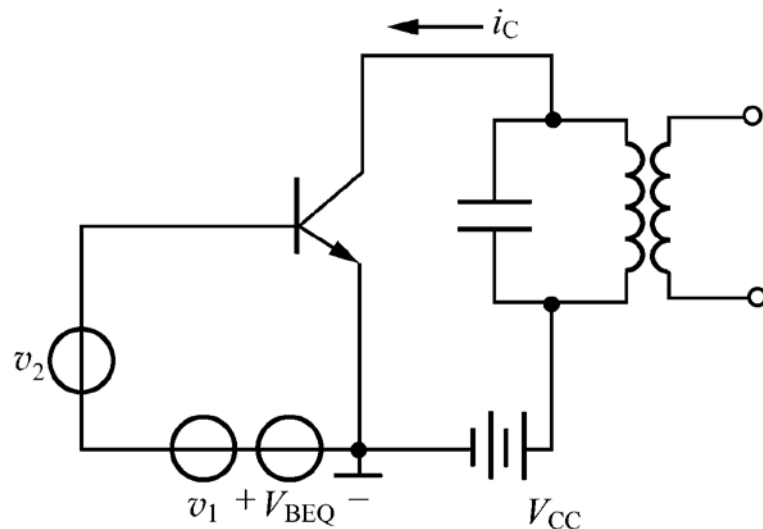
3. 两信号混频



结论: 频谱搬移是产生两信号的和频与 (或) 差频

2.8 非线性器件在频谱搬移中的应用

- 理想的频谱搬移电路——乘法器
- 非线性器件的二次方项就可实现两信号的相乘



$$\begin{aligned} a_2(v_1 + v_2)^2 &= a_2(V_{1m} \cos \omega_1 t + V_{2m} \cos \omega_2 t)^2 \\ &= \frac{a_2}{2} V_{1m} V_{2m} [\cos(\omega_2 + \omega_1) + \cos(\omega_2 - \omega_1)t] + \dots \end{aligned}$$

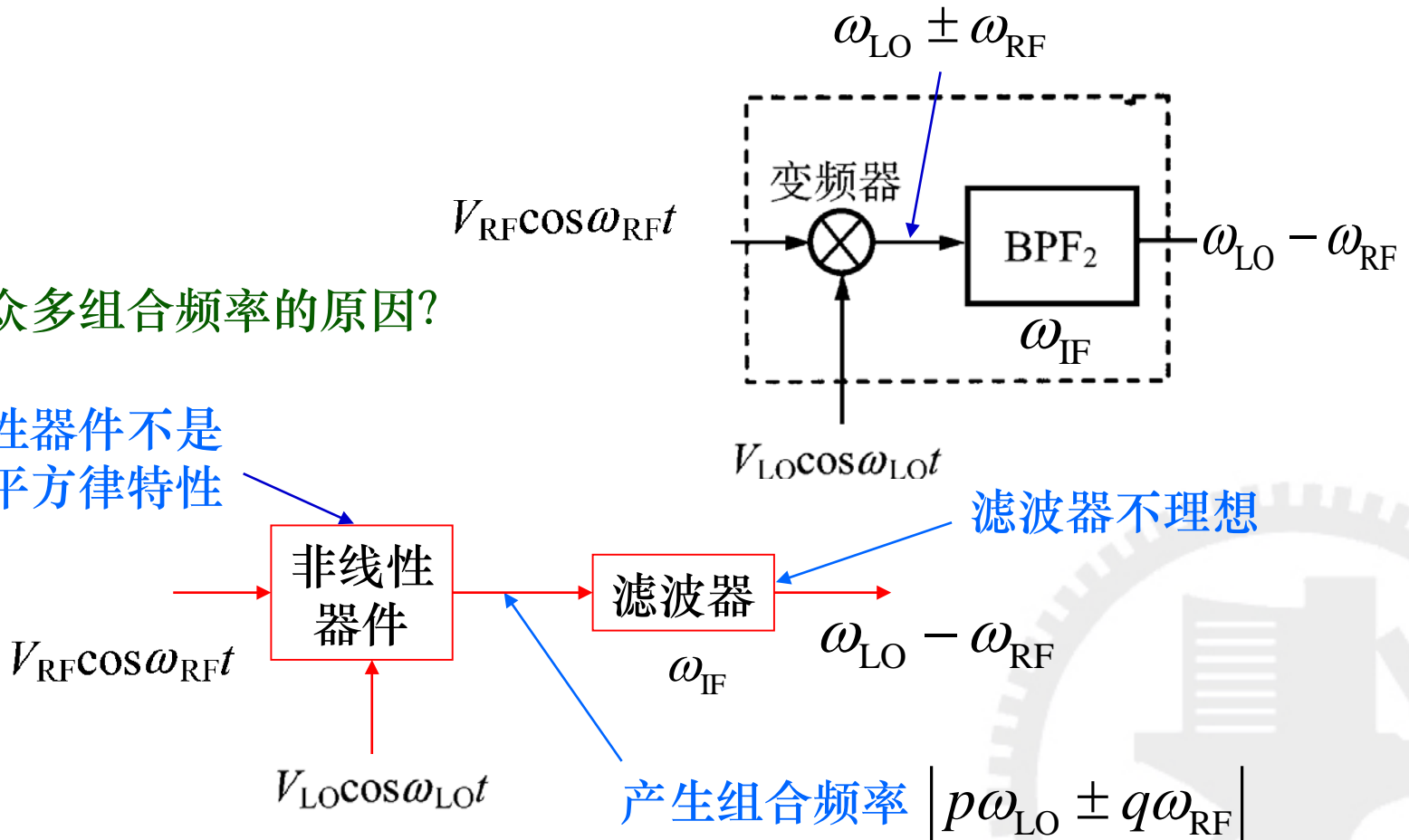
4.2.1 超外差式接收机

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?

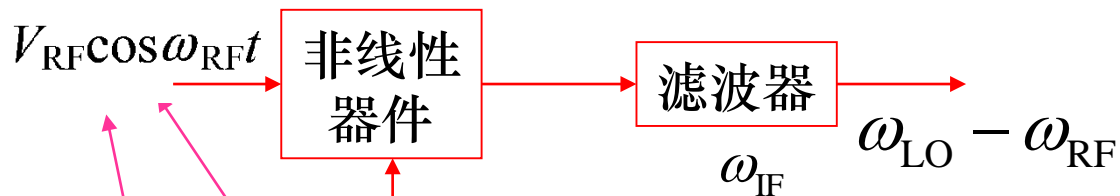
非线性器件不是理想平方律特性

滤波器不理想



4.2.1 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

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

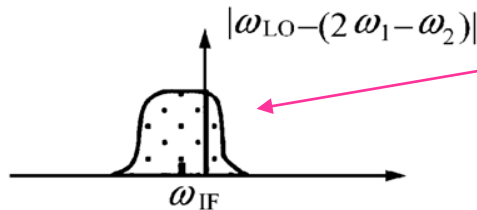
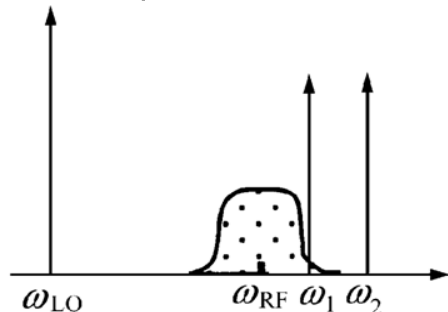
当 ΔF 小于中频带宽时，通过滤波器输出

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



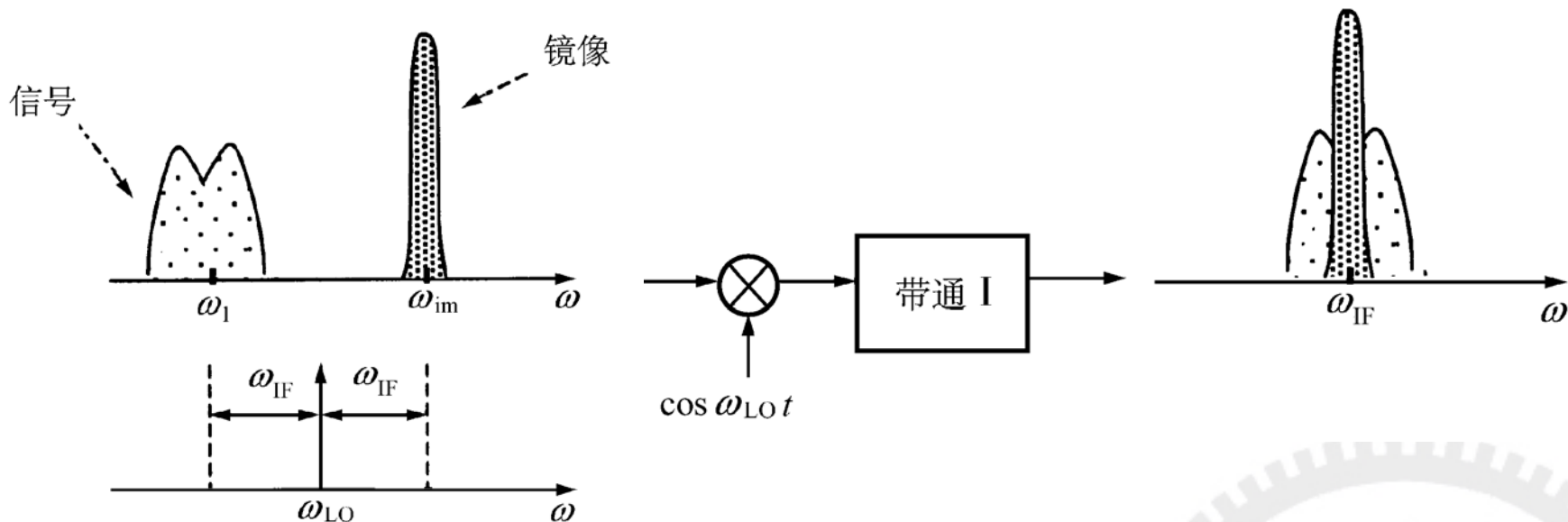
三阶互调干扰

4.2.1 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

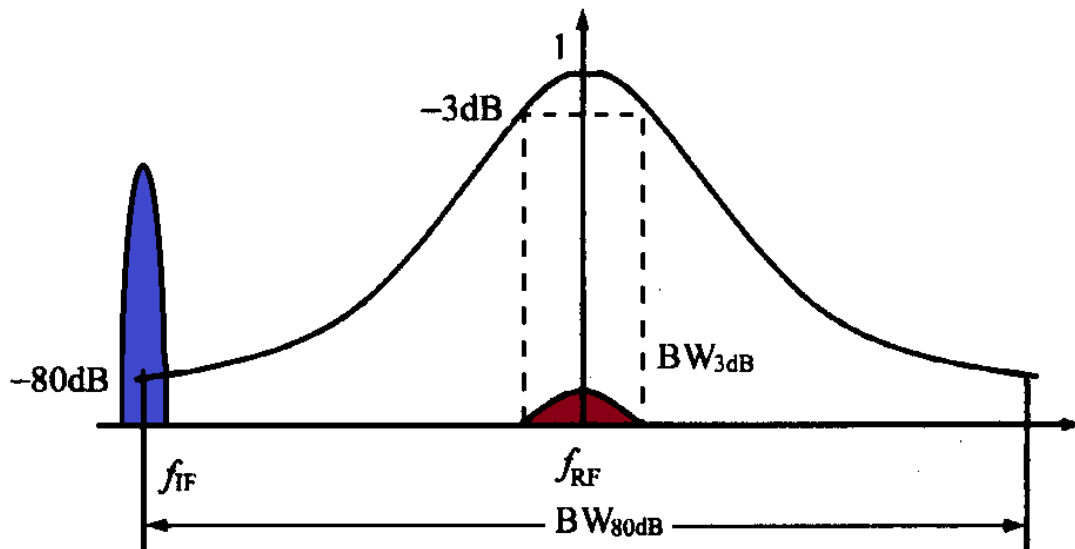
前端滤波器滤除

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）

4.2.1 超外差式接收机

中频干扰 —— 次重要的寄生通道干扰



由非线性器件（混频器）的1阶乘幂项导致

消除中频率干扰的方法：减小进入变频器的中频干扰信号

零中频方案

4.2.1 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

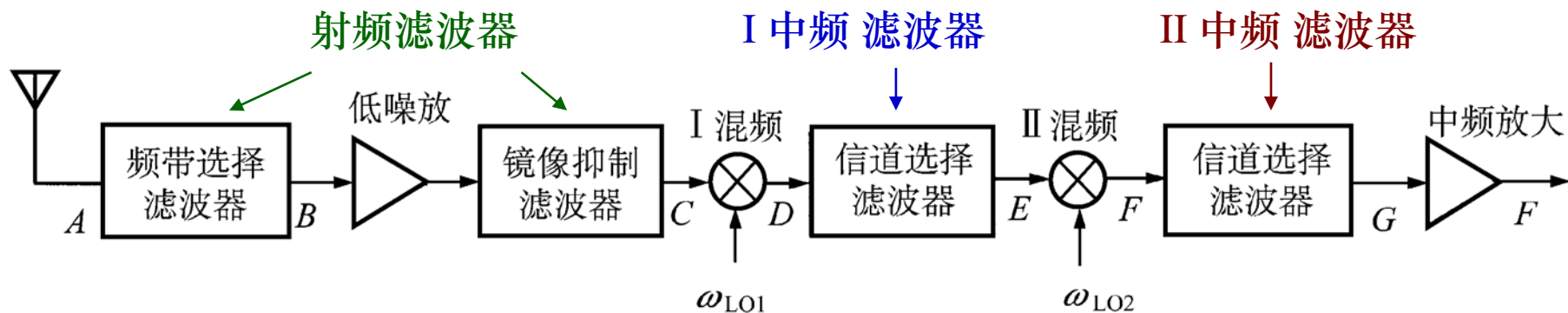
优点： 利于选择信道、稳定的高增益

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

4.2.1 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)

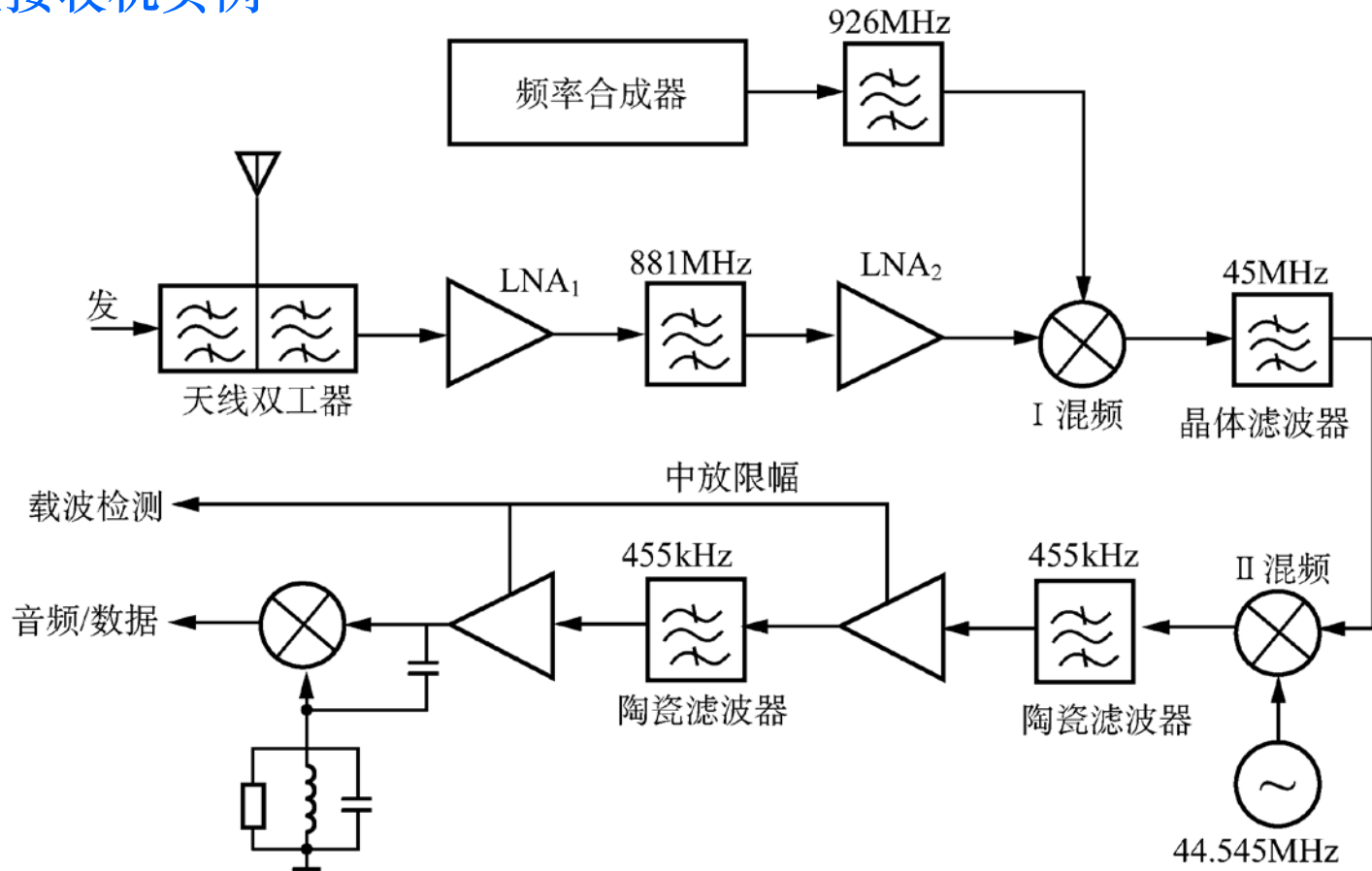
4.2.1 超外差式接收机

二次混频超外差接收机实例

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

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

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



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

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

4.2.1 超外差式接收机

I混频：中频干扰 45 (MHz)，镜频干扰 971 (MHz)

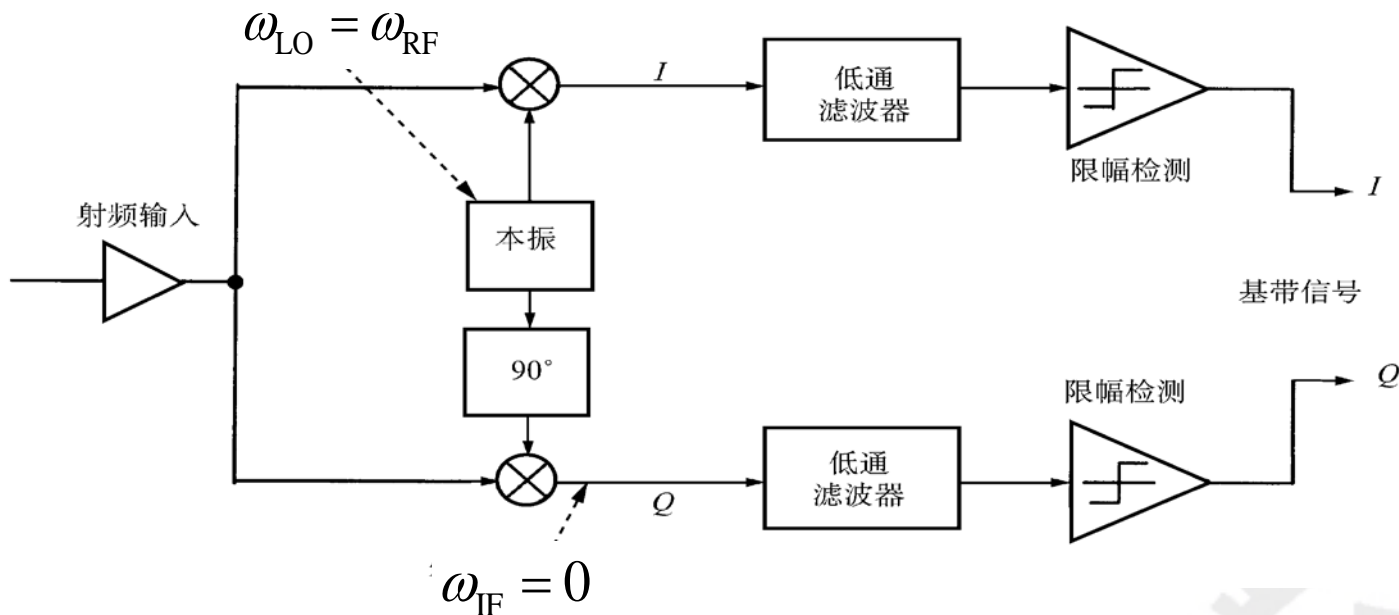


II混频：中频干扰 455 (kHz)，镜频干扰 44.09 (MHz)



4.2.2 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

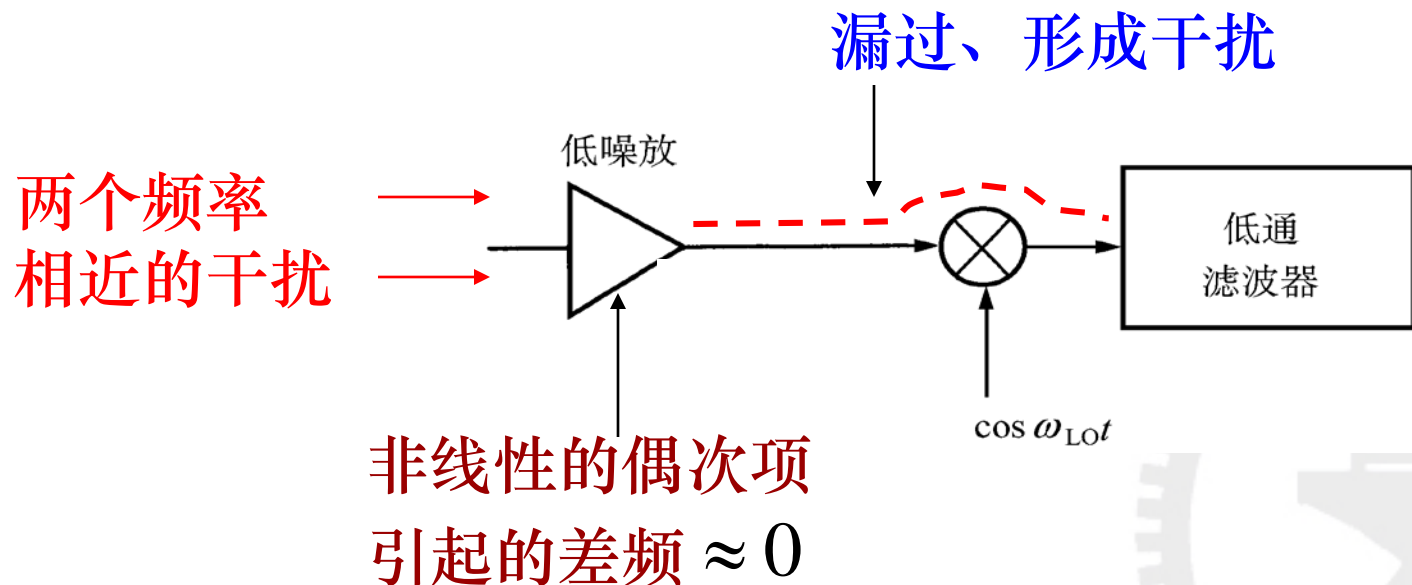
4.2.2 直接下变频方案（零中频方案）

直接下变频方案存在的问题

➤ 本振泄露

关键原因：本振频率与信号频率相同

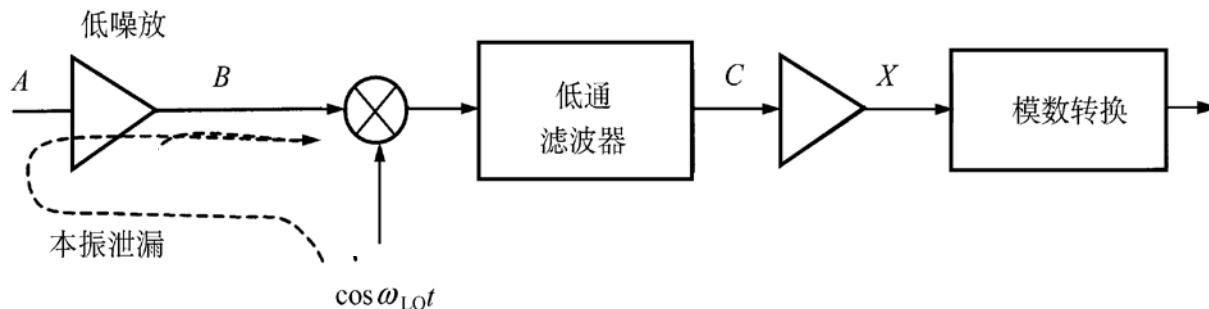
➤ LNA偶次谐波失真干扰



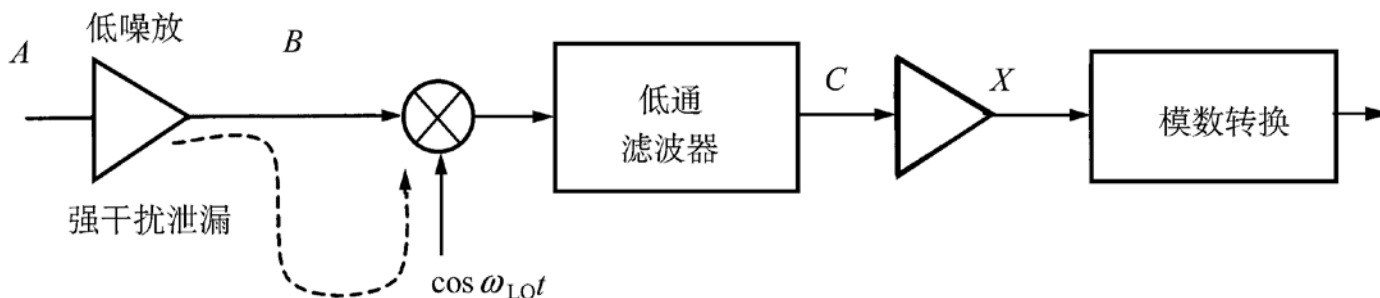
4.2.2 直接下变频方案（零中频方案）

➤ 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



➤ $\frac{1}{f}$ 噪声影响

4.2.3 镜频抑制接收方案

a. Hartley方案

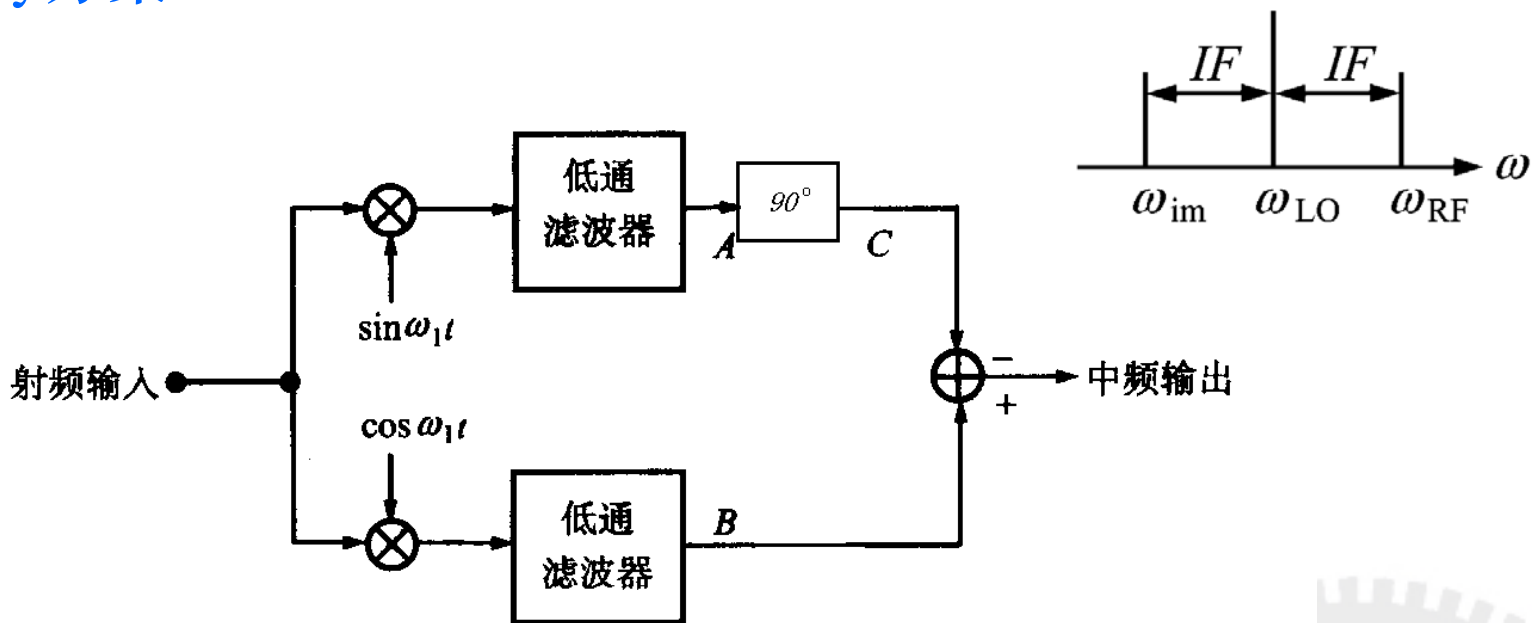


图 4.2.0 Hartley 结构镜频抑制混频器

特点：利用电路结构形式，抑制镜像频率干扰

4.2.3 镜频抑制接收方案

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

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

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

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

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

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

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

难度: 要求两路完全一致
 90° 移相必须准确

4.2.3 镜频抑制接收方案

b. Weaver方案

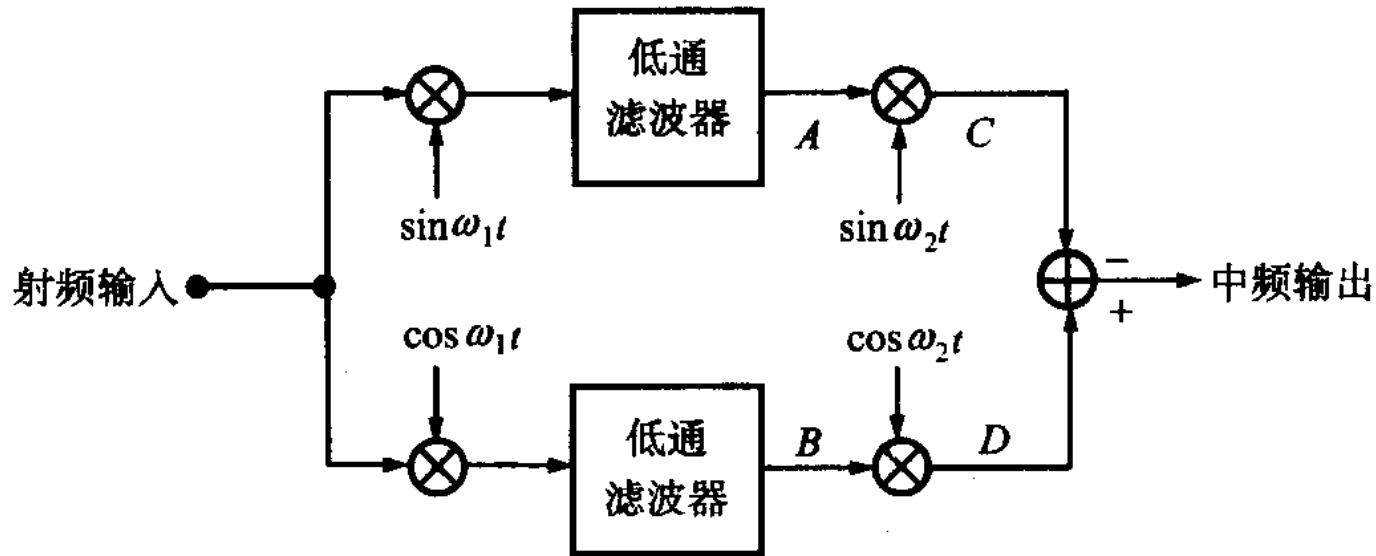


图 4.2.12 Weaver 结构镜频抑制混频器

b. Weaver方案 (续)

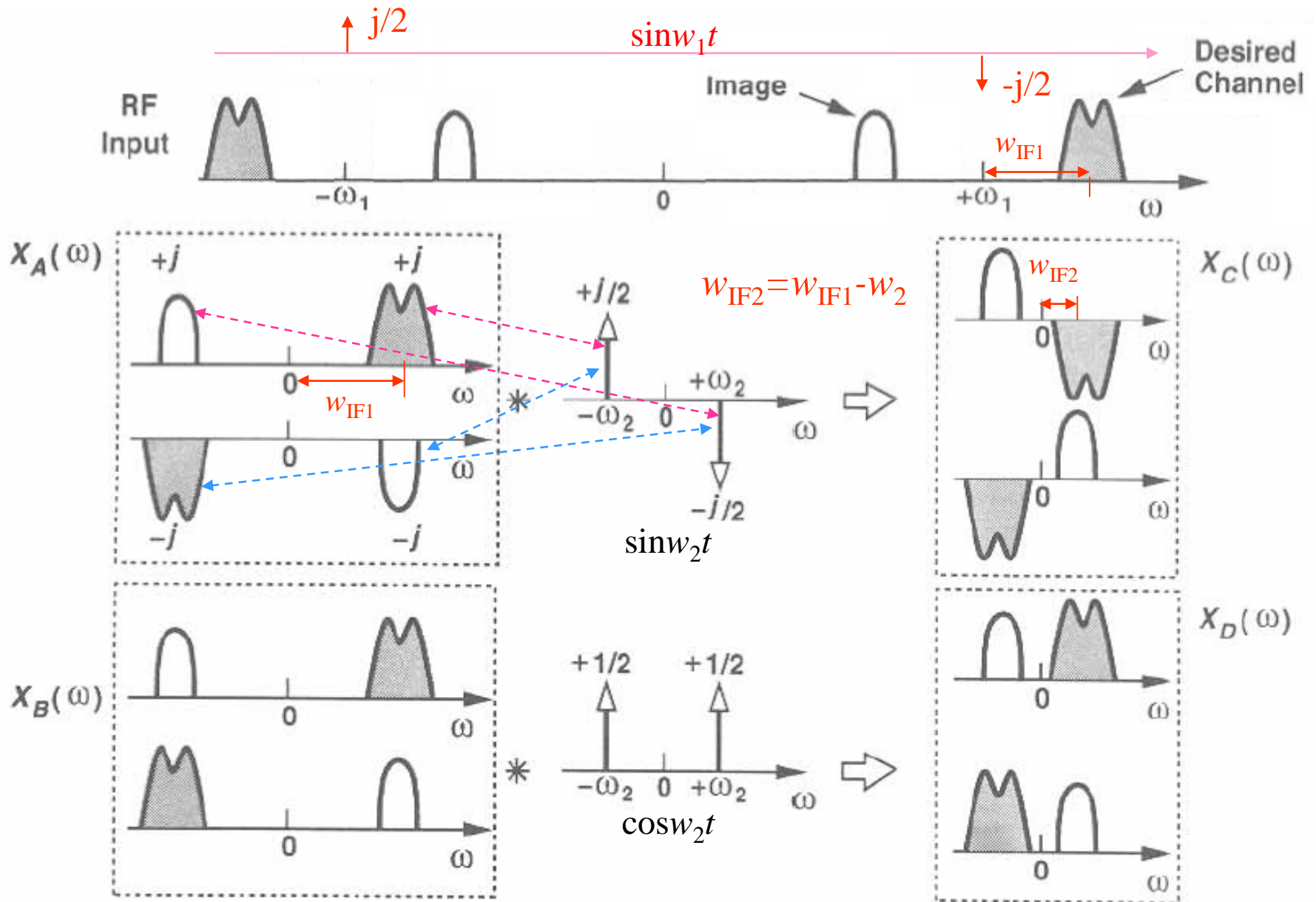


Figure 5.29 Graphical analysis of Weaver architecture.

4.2.4 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

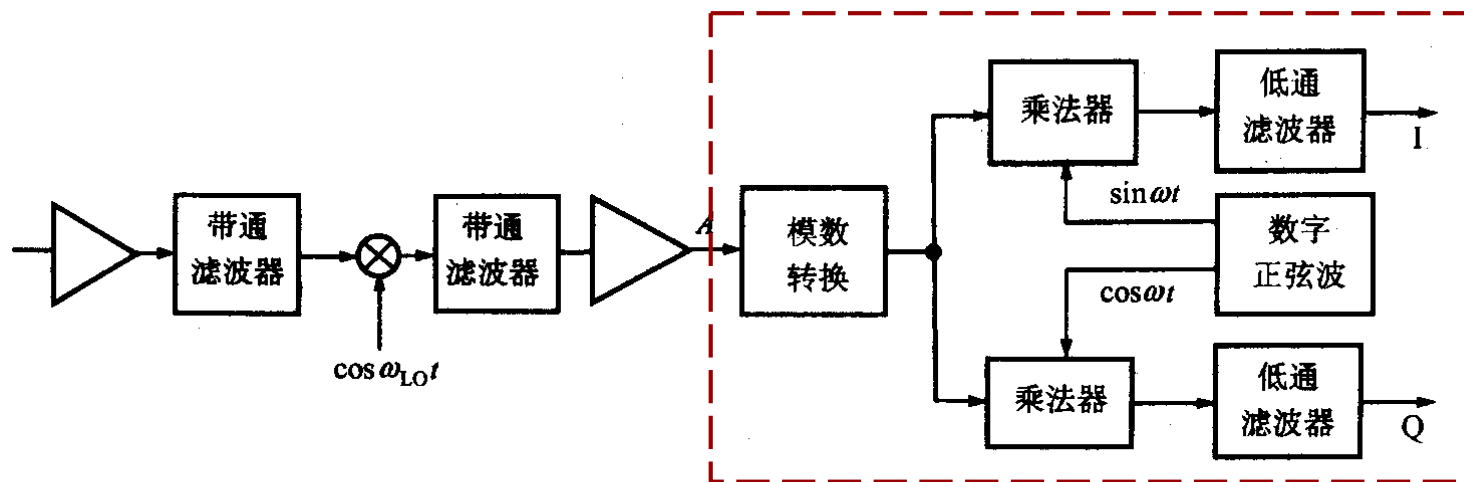


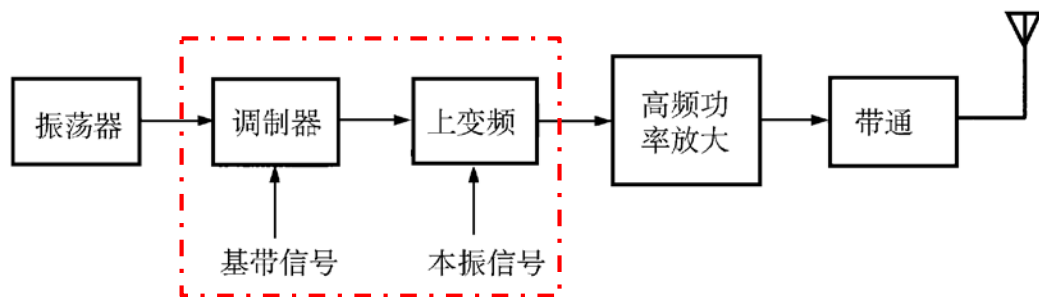
图 4.2.14 数字中频方案

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)

4.3 发射机方案



1. 直接变换正交调制发射机

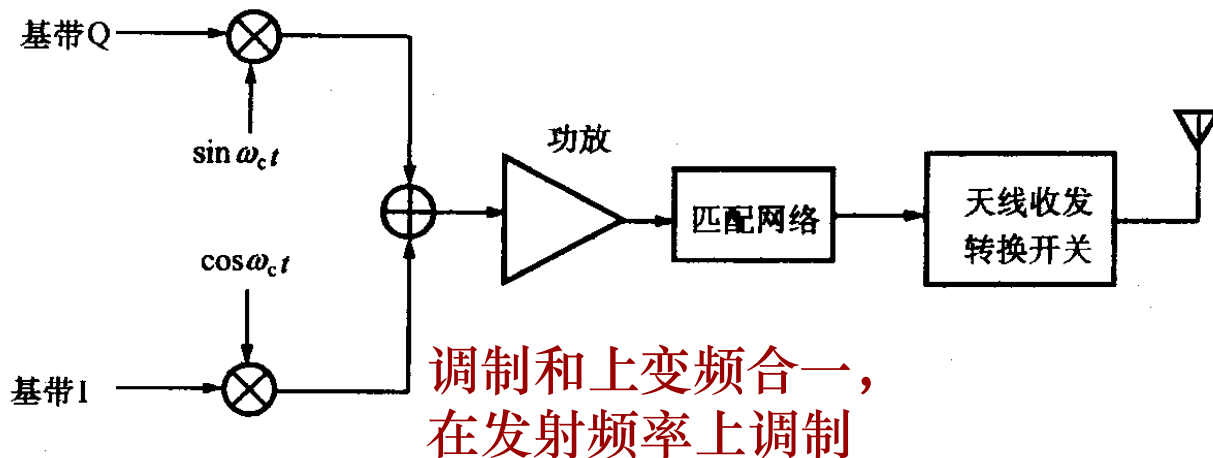


图 4.3.1 直接变换正交调制发射机

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

4.3 发射机方案

2. 两步变换正交调制发射机

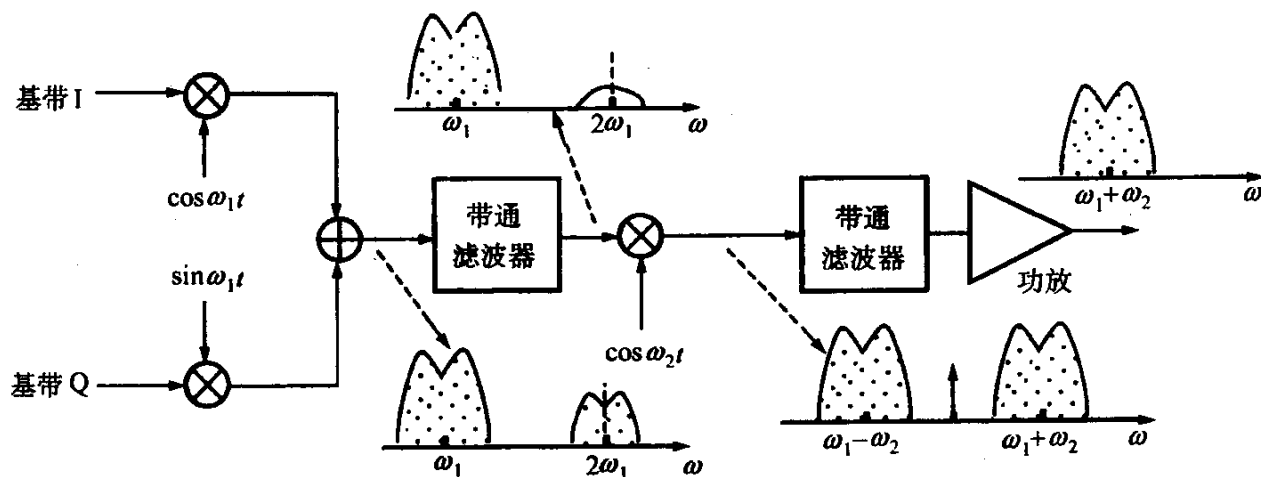


图 4.3.2 两步变换正交调制发射机

优点：避免本振牵引，调制易于实现

缺点：上变频滤波器实现难度大

4.3 发射机方案

3. 双偏置本振方案

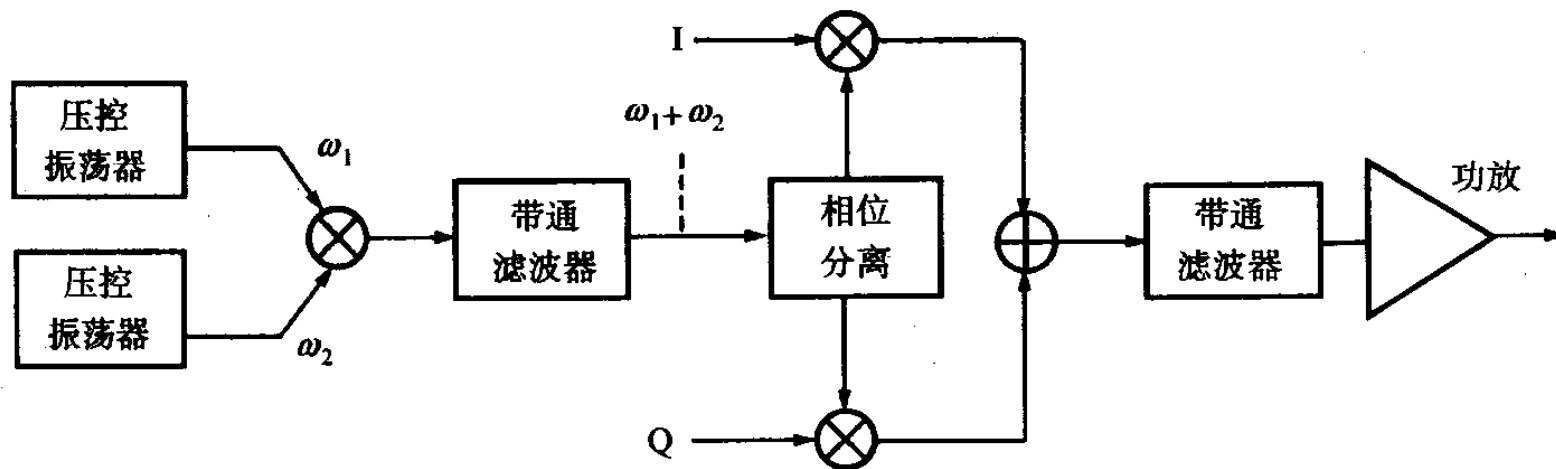


图 4.3.3 带有两个偏置本振的直接变换发射机

两个本振频率与输出频率差别大，不易被输出强信号干扰

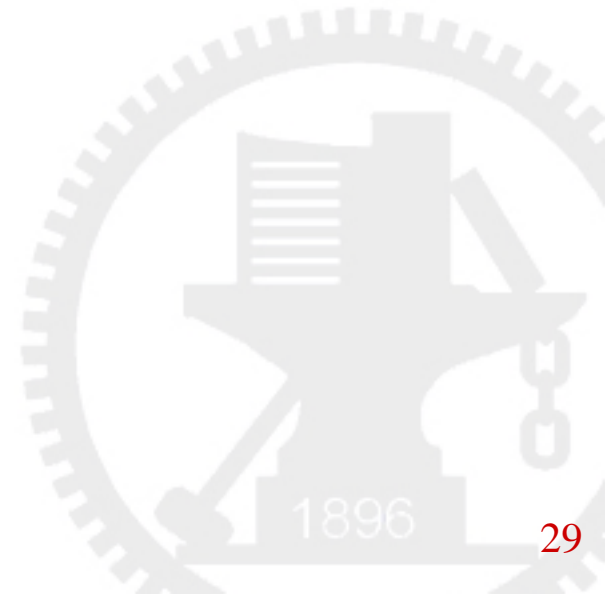
4.4 无线发射接收机的性能指标

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



4.4 无线发射接收机的性能指标

3. 系统指标分配与计算

对各功能单元电路的要求：

- (1) 天线双工器的插入损耗必须小。
- (2) 低噪声放大器必须具有很低的噪声、合适的增益、高的三阶互调截点及低的功耗。
- (3) 混频器应有高的三阶互调截点及低的噪声。
- (4) 频率合成器应有低的相位噪声、切换速度快。
- (5) 滤波器的中心频率的热漂移要小、频率响应误差小。

3. 系统指标分配与计算

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:

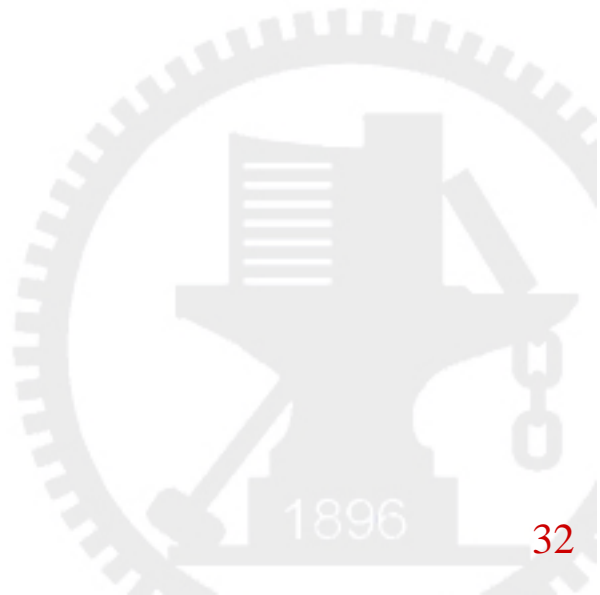
三阶互调截点输入功率IIP₃计算:

表 4.4.1 接收机各级指标计算

	1	2	3	4	5	
	A	B	C	D	E	F
	双工器	低噪声放大器	抑制镜频滤波器	混频器	中频滤波器	中频放大器
	$L_1=2\text{dB}$	$G_{P2}=15\text{dB}$	$L_3=6\text{dB}$	$G_{P4}=5\text{dB}$	$L_5=5\text{dB}$	
NF		$NF_1=2\text{dB}$		$NF_4=12\text{dB}$		$NF_5=10\text{dB}$
IIP ₃	+100dBm	-12dBm	+100dBm	+5dBm	+100dBm	

本章要点

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



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。
3. 请指出零中频方案中本振泄漏和直流偏差产生的原因。

作业：

- 4-2、4-3、4-4、4-5、4-9

