



# 第 6 章 振幅调制、解调及混频

➤ 6.1 振幅调制

➤ 6.2 调幅信号的解调

➤ 6.3 混频

➤ 6.4 混频器的干扰



## 6.4 混频器的干扰

**干扰：** 除了有用信号以外的所有信号统称为干扰。

产生干扰的**原因**：混频器的非线性作用。

形成干扰的**条件**：（1）是否满足一定的频率关系；  
（2）满足频率关系的幅值是否较大

混频器中存在的干扰有：

1. 信号与本振的自身组合干扰（**干扰哨声**）
2. 外来干扰与本振的组合干扰（**副波道干扰**）
3. 外来干扰互相形成的互调干扰（**互调干扰**）
4. 外来干扰与信号形成的交叉调制干扰（**交调干扰**）
5. 阻塞、倒易混频干扰等



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 1. 产生

当输入信号  $u_s(f_c)$ 、本振信号  $u_L(f_L)$  作用于非线性器件时，非线性器件产生组合频率分量：

$$f_{\square} = \square pf_L \square qf_c$$

当  $f_{\square} \square f_I$  时，会产生干扰。

当有用中频为差频时，即  $f_I = f_L - f_c$  或  $f_I = f_c - f_L$ ，只有  $pf_L - qf_c = f_I$  或  $qf_c - pf_L = f_I$  两种情况可能会形成干扰，即：

$$\begin{aligned} pf_L - qf_c &= \square f_I \\ \square \quad f_c &= \frac{p}{q} f_L \mp \frac{1}{q} f_I \end{aligned}$$



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 1. 产生

当取  $f_I = f_L - f_c$

$$\left. \begin{aligned} f_c &= \frac{p}{q} f_L \mp \frac{1}{q} f_I \\ f_I &= f_L - f_c \end{aligned} \right\} \square$$

$$\frac{f_c}{f_I} = \frac{p \mp 1}{q - p} \quad \text{—— 变频比}$$

同理，当取  $f_I = f_c - f_L$

$$\frac{f_c}{f_I} = \frac{p \mp 1}{p - q}$$

**结论：**变频比一定，则干扰点就确定。即中频一定，在接收机频率工作范围内，组合干扰点就确定了。



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 1. 产生

不同的  $p$ 、 $q$  值对应的变频比如下表所示：

$$\frac{f_c}{f_1} = \frac{p \mp 1}{q - p}$$

编号	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$p$	0	1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2
$q$	1	2	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8
$p/q$	1	2	3	2/3	3/2	4	1/2	1	2	5	2/5	3/4	4/3	5/2	1/3	5/3	1	2/7	1/2



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 1. 产生

例：  $f_c=931\text{KHz}$ ,  $f_I=465\text{KHz}$  ,  $f_I=f_L-f_c$

则：  $f_L=1396\text{KHz}$   $\frac{f_c}{f_I} = 2$  □

查表可知，对应 2 号， 10 号干扰点

2 号： 3 阶干扰，

$$2f_s - f_L = 1862 - 1396 = 466\text{KHz}$$

10 号： 8 阶干扰

$$5f_s - 3f_L = 4655 - 4188 = 467\text{KHz}$$

编号	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$p$	0	1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2
$q$	1	2	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	8	8
$p/q$	1	2	3	2/3	3/2	4	1/2	1	2	5	2/5	3/4	4/3	5/2	1/3	5/3	1	2/7	1/2



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 2. 抑制方法

组合干扰与信号同时存在，提高前端电路选择性是不起作用的，这是与外来干扰产生组合干扰的主要不同点。

抑制方法：

##### (1) 正确选择中频数值

由于组合分量的振幅值随  $p+q$  的增加而迅速减小，只有  $p+q$  值较小的组合频率才会产生明显的干扰。

合理选择中频，将产生最强干扰哨声的频率移到接收频段外。

例：接收频段：2~30MHz,  $f_I=1.5\text{MHz}$ ,  $\frac{f_c}{f_I} \square 1.33 \sim 20$

组合干扰点：2, 4, 6, 7, 10, 11, 14, 15 号，最严重的是 2、3 阶， $f_c=2f_I=3\text{MHz}$



## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 2. 抑制方法

如果  $f_I = 0.5\text{MHz}$ ，则  $\frac{f_c}{f_I} \square 4 \sim 60$

组合干扰点是 7、11 号，最严重的为 7 号 7 阶干扰， $f_c = 4f_I = 2\text{MHz}$

即减小中频，干扰点数大大减少，而且干扰强度大大降低

但是中频降低，对抑制镜频干扰不利——原因后面介绍

若  $f_I = 60\text{MHz}$ ，则  $\frac{f_c}{f_I} \square 0.33 \sim 0.5$

组合干扰点 8，12，16，19，20 号，最严重的是 8 号 6 阶干扰

$$f_c = 1/2 f_I = 30\text{MHz}$$

采用高中频，对抑制镜频干扰和中频干扰有益。





## 6.4 混频器的干扰

### 一、信号与本振的自身组合干扰

#### 2. 抑制方法

- (2) 正确选择混频器的工作状态，使组合频率分量少。  
即  $g_m(t)$  的谐波分量少，使其接近乘法器。
- (3) 采用合理的电路形式，如平衡电路，环形电路，乘法器



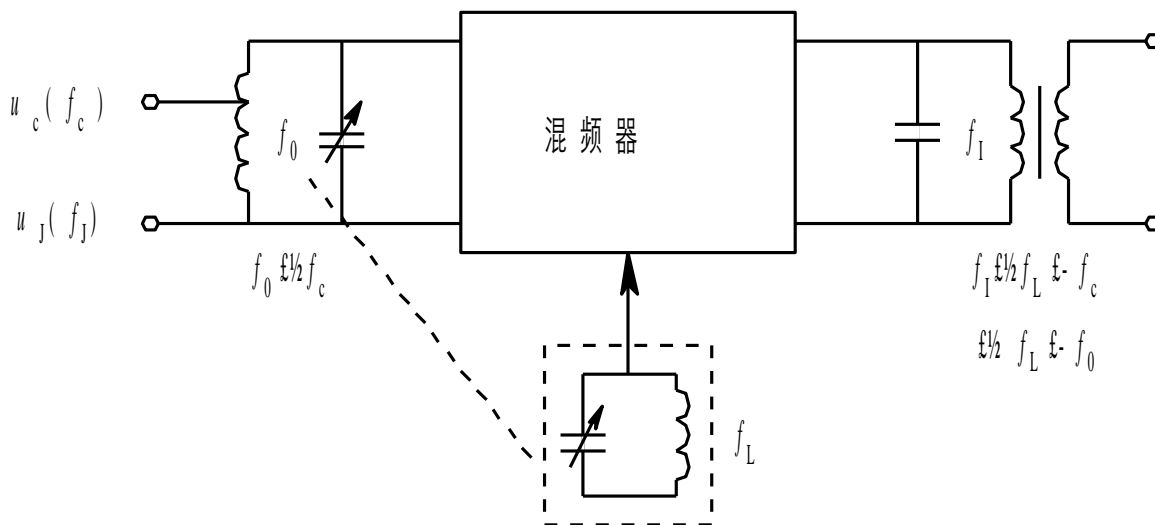
## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

这种干扰是指外来干扰电压与本振电压由于混频器的非线性而形成的假中频。

设干扰电压为  $u_J(t) = U_J \cos \omega_J t$ , 频率为  $f_J$ 。

接收机在接收有用信号时, 某些无关电台也可能被同时收到, 表现为串台, 还可能夹杂着哨叫声。





## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

如果干扰频率  $f_J = \frac{p}{q} f_L \pm \frac{1}{q} f_I$

$$f_c = \frac{p}{q} f_L \mp \frac{1}{q} f_I$$

则会形成干扰。 $f_J$  总是成对地分布在  $\frac{p}{q} f_L$  的左右，并与之相差

这类干扰主要有：中频干扰，镜像干扰，及其它副波道干扰。

#### 1. 中频干扰

$f_J = f_I$   $\diamond p=0; q=1$  形成一阶干扰。

**产生的原因：**前端电路选择性不好。干扰电压到达混频器输入端，混频器输出回路谐振于  $f_I$ ， $f_J$  就会被混频器和各级中放放大，形成干扰。



## 6.4 混频器的干扰

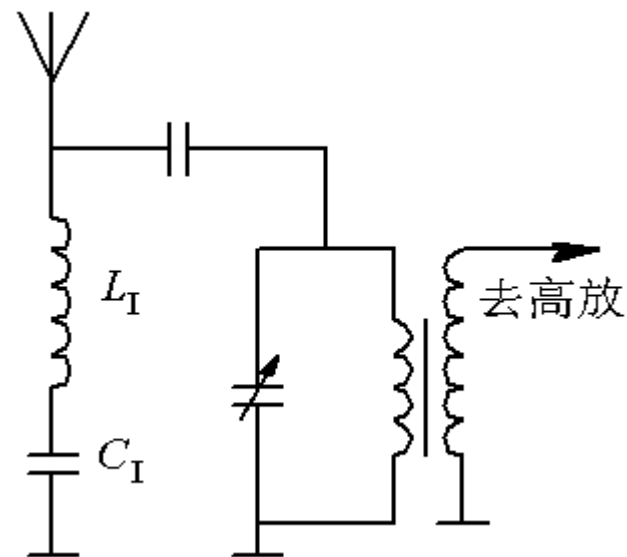
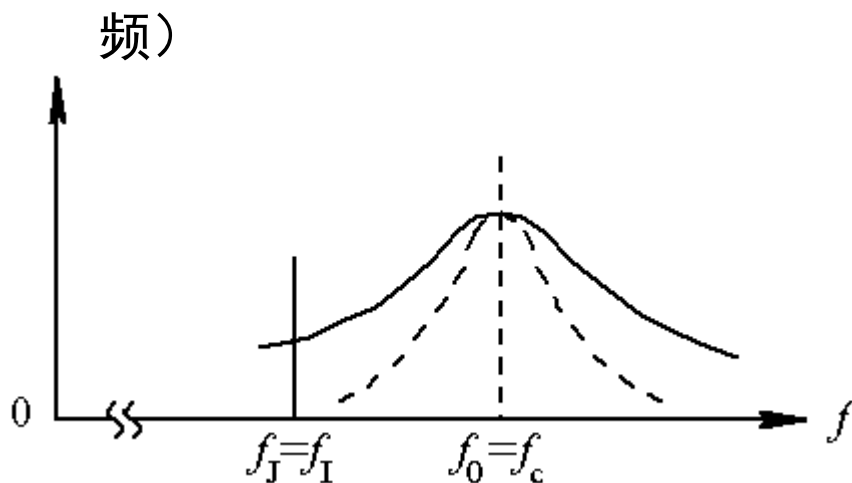
### 二、外来干扰与本振的组合干扰

#### 1. 中频干扰

抑制方法：（1）提高前端电路的选择性，降低在混频器输入端的干扰电压值

（2）加中频陷波电路

（3）选择适当的中频（高中





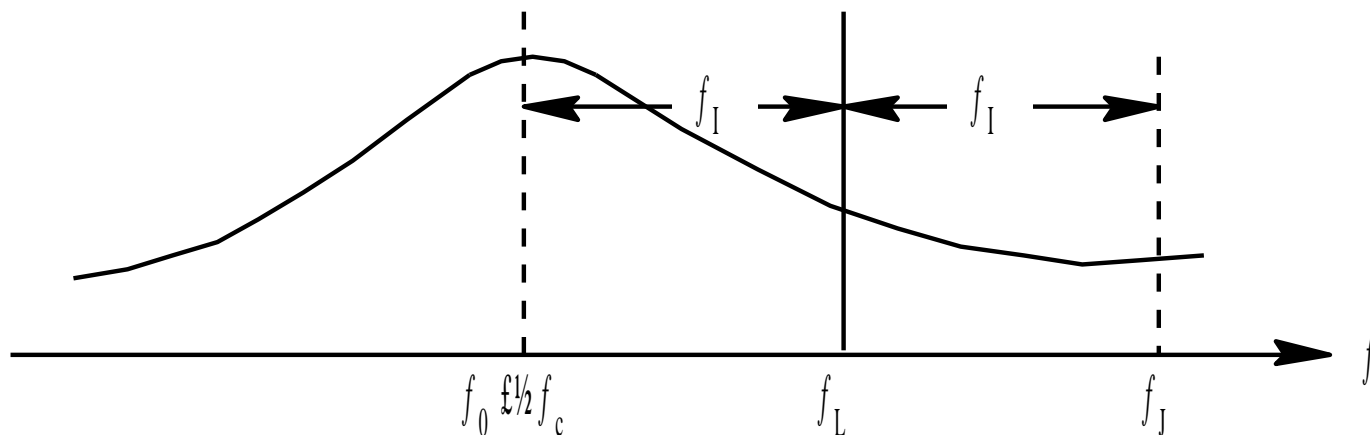
## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

#### (2) 镜像干扰

$$f_J = \frac{p}{q} f_L \pm \frac{1}{q} f_I$$

如果  $f_J = f_L + f_I$   $p = q = 1$  则会形成二阶组合干扰



此时  $f_c$ ， $f_J$  对称地分布在  $f_L$  两侧，称镜像关系，故将  $f_J$  称为镜像频率，这种干扰称为镜像干扰。



## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

#### (2) 镜像干扰

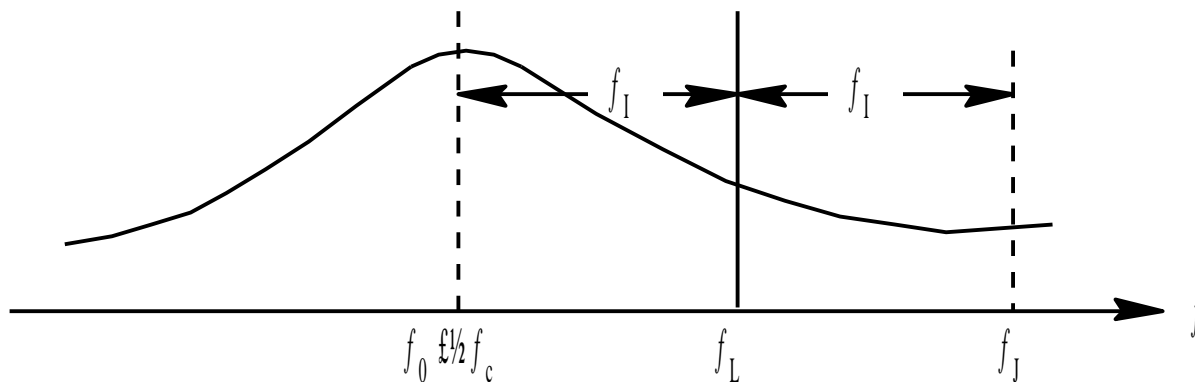
抑制方法：

因混频器对镜频的变换能力，与对信号的变换能力相同，故无法采用工作状态来抑制。

(1) 提高前端电路的选择性

(2) 提高  $f_I$  的数值（即高中频）

$f_I$  ☐☐  $f_L$  ☐☐  $f_J$  ☐☐ 加到混频器输入端的电压值降低





## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

#### (3) 组合副波道干扰

当  $p=q$  时，有：
$$f_J = f_L \pm \frac{1}{q} f_I$$

当  $p=q=2, 3, 4$  时， $f_J$  分别为

$$f_J = f_L \pm \frac{1}{2} f_I \quad f_J = f_L \pm \frac{1}{3} f_I \quad f_J = f_L \pm \frac{1}{4} f_I$$

因  $f_J = f_L - \frac{1}{2} f_I$

最靠近  $f_c$ ，故干扰最严重。

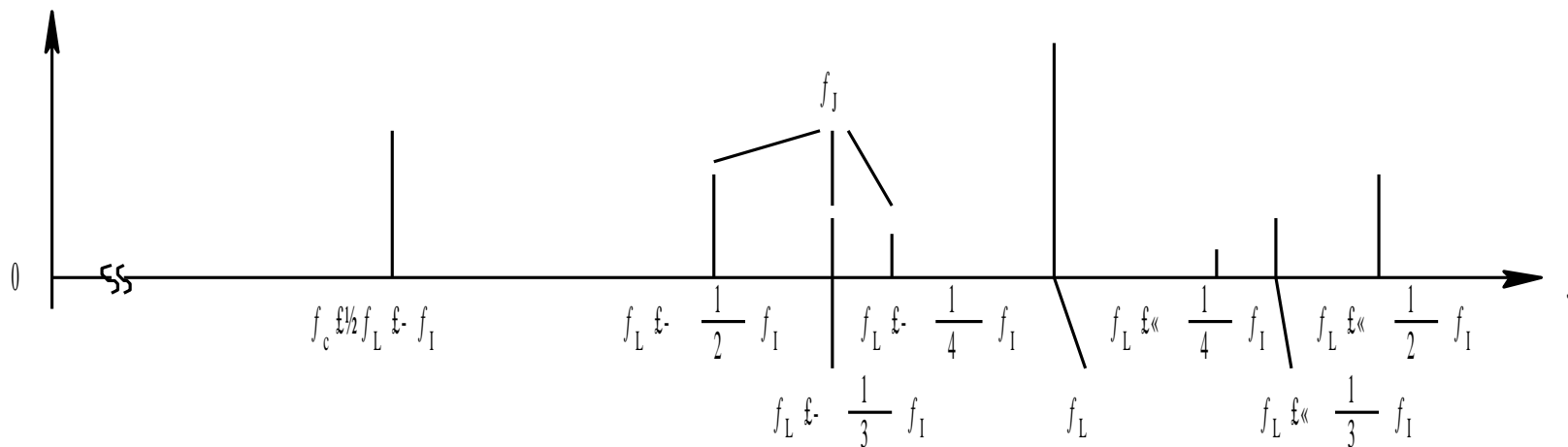
此时  $2f_J - 2f_c = f_I$  —— 四阶干扰



## 6.4 混频器的干扰

### 二、外来干扰与本振的组合干扰

#### (3) 组合副波道干扰



抑制方法：提高中频数值和前端电路的选择性。





## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）

**定义：**交调干扰的形成与本振无关，它是有用信号与干扰信号一起作用于混频器时，由混频器的非线性形成的干扰。

**特点：**当接收有用信号时，可同时听到信号台和干扰台的声音，一旦有用信号消失，干扰台的声音也同时消失。犹如干扰台的调制信号调制在信号的载频上。

交调干扰的**含义**：一个已调的强干扰信号与有用信号（已调波或载波）同时作用于混频器，经非线性作用，可以将干扰的调制信号转移到有用信号的载频上，然后再与本振混频得到中频信号，从而形成干扰。



## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）

分析：

由非线性器件的  $i=f(t)$  展开成泰勒级数，其四阶项为  $a_4 u^4$ 。

设  $u=u_J+u_s+u_L$ ，则有  $u_J^2 u_s u_L$  项

$$u_J = U_J (1 + m_J \cos \Omega_J t) \cos \omega_J t$$

设  $u_s = U_s \cos \omega_c t$

$$u_L = U_L \cos \omega_L t$$

则： 
$$u_J^2 u_s u_L = \frac{U_{J0}^2}{4} (1 + m \cos \Omega t)^2 (1 + \cos 2\omega_J t) U_L U_s$$

$$\cos(\omega_L - \omega_c)t + \cos(\omega_L + \omega_c)t]$$



## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）

$$u_J^2 u_s u_L = \frac{U_{J0}^2}{4} (1 + m \cos \Omega t)^2 (1 + \cos 2\omega_J t) U_L U_s$$
$$[\cos(\omega_L - \omega_c)t + \cos(\omega_L + \omega_c)t]$$

其中有：

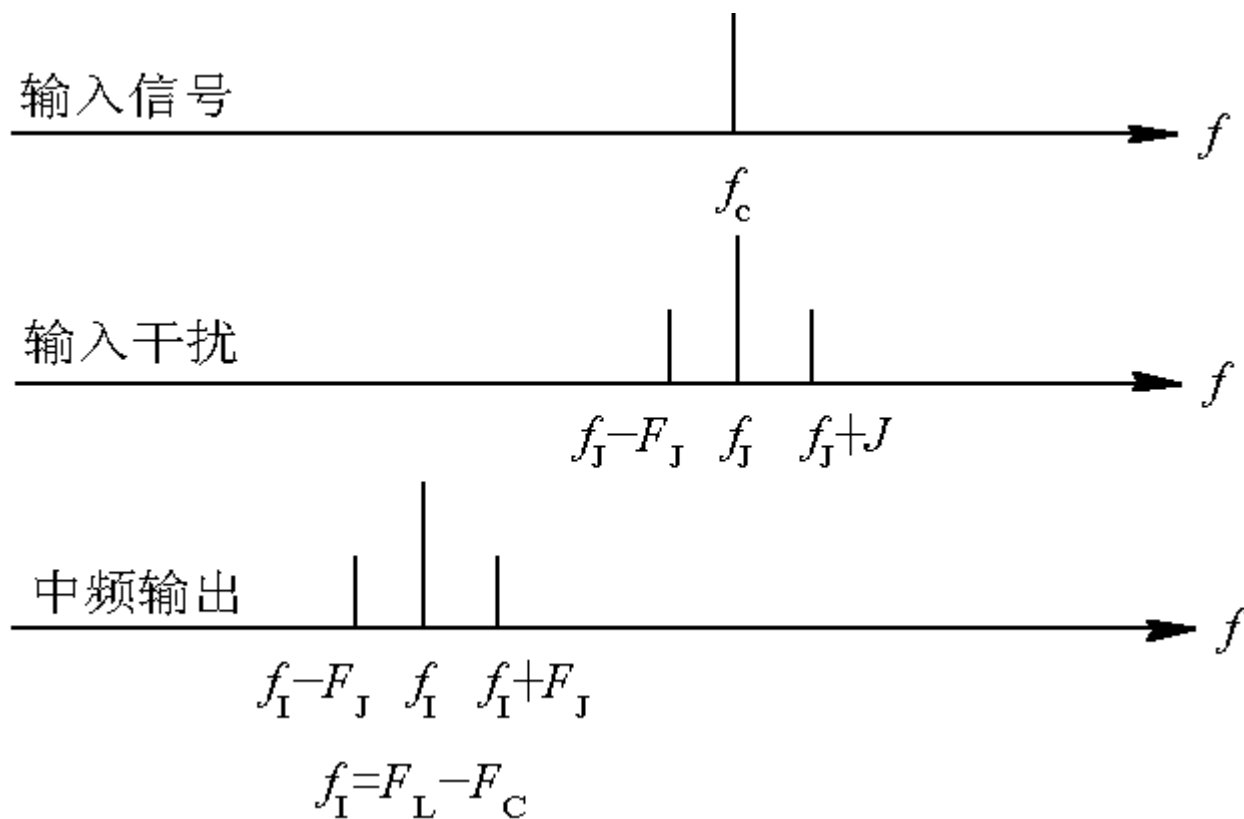
$$\frac{U_{J0}^2}{4} U_L U_s (1 + m \cos \Omega t)^2 \cos \omega_I t$$

该项可通过混频器后面的中频通道，从而对有用信号形成干扰。



## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）





## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）

交调干扰的实质是将干扰电压解调（取出包络，有失真），再与有用信号载频进行调制，他与信号并存，通过信号作用。干扰信号载频与  $f_c$  无固定关系，只要是可以进入接收机的强干扰信号都可以造成交调干扰。

$$\frac{U_{J0}^2}{4} U_L U_s (1 + m \cos \Omega t)^2 \cos \omega_I t \quad \square$$

如果有用信号消失，即  $U_s=0$ ，则交调产物为 0

交调干扰由混频器的四阶项产生；  
而放大器中也存在交调干扰，但是由三次方项产生，交调产物的频率为  $f_c$ ，而不是  $f_I$ ；

——统称为三

阶交调干扰



## 6.4 混频器的干扰

### 三、交叉调制干扰（交调干扰）

抑制方法：

- （1）提高前端电路的选择性；
- （2）选择合适的器件及合适的工作状态；



## 6.4 混频器的干扰

### 四、互调干扰

#### 1. 定义

由两个或多个干扰电压同时作用在混频器的输入端，因器件的非线性产生近似为中频的组合分量，落入中频带宽之内形成的干扰。

#### 2. 分析

设有两个干扰信号  $u_{J1}$ ， $u_{J2}$  与本振  $u_L$  同时作用于混频器的输入端，由于非线性产生四次方项  $a_4 u^4$ ， $u = u_{J1} + u_{J2} + u_L$

$a_4 u^4$  可分解出  $u_{J1}^2 u_{J2} u_L$

$$u_{J1}^2 u_{J2} u_L = \frac{1}{2} U_{J1}^2 (1 + \cos 2\omega_{J1} t) U_{J2} U_L \cos \omega_{J2} t \cos \omega_L t$$

得到的组合频率为： $f_{\square} = | \square 2f_{J1} \square f_{J2} \square f_L |$



## 6.4 混频器的干扰

### 四、互调干扰

#### 2. 分析

$$f_{\square} = | \pm 2f_{J1} \pm f_{J2} \pm f_L |$$

当  $f_{\square} \approx f_L$  时，就会形成干扰

当  $2f_{J1} + f_{J2} = f_c$   $f_{J1}, f_{J2}$  时，必有一个远离

当  $2f_{J1} - f_{J2} = f_c$   $f_{J1}, f_{J2}$  时，均  
离  $f_c$  较近，产生的干扰比较严重。

$$\text{此时有: } f_{J1} - f_{J2} = f_c - f_{J1}$$

结论：两个干扰频率都小于或大于工作频率，且三者等距时（**同侧等距**），就可以形成互调干扰。而对距离的大小无限制。

混频器的互调干扰为四阶互调，而放大器的互调为三阶互调，统称为**三阶互调**

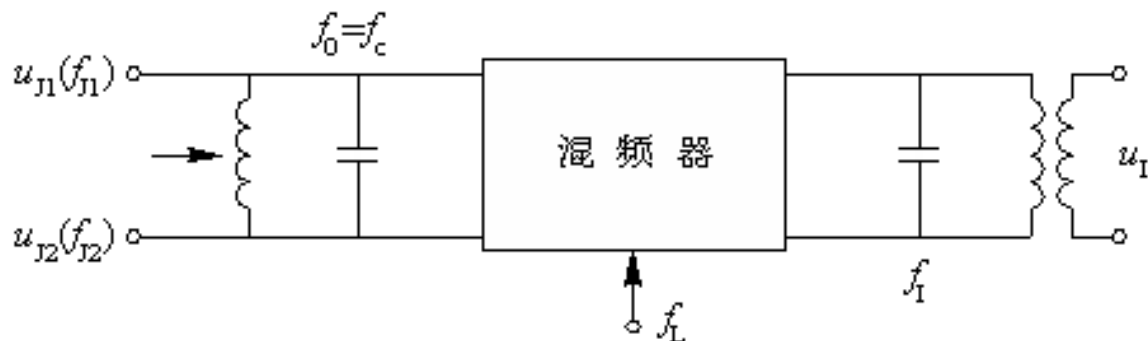




## 6.4 混频器的干扰

### 四、互调干扰

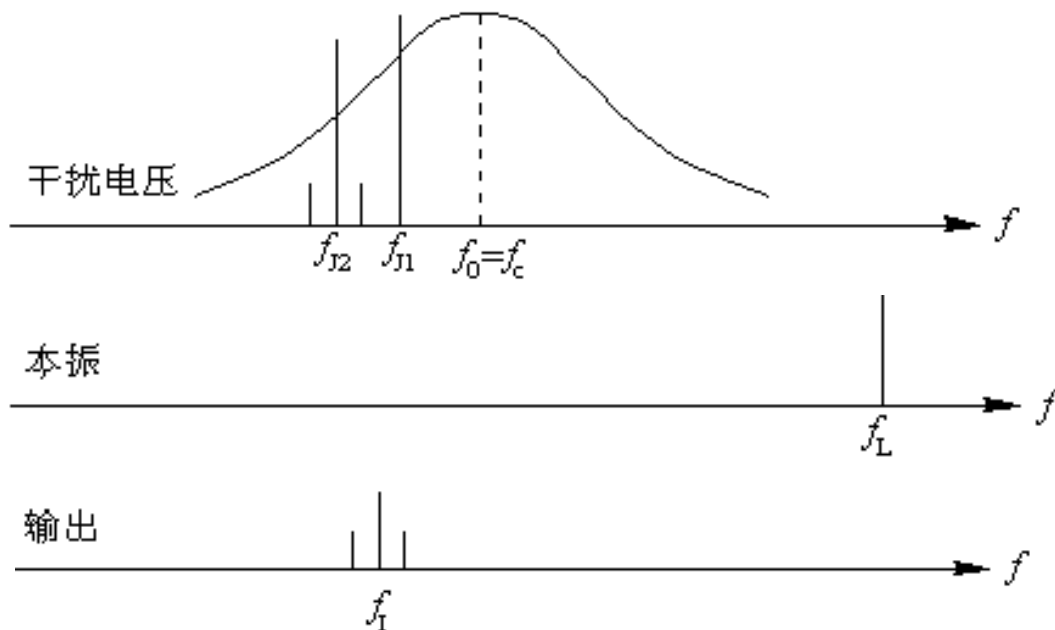
#### 2. 分析



#### 3. 抑制方法

(1) 提高选择性;

(2) 选择合适的电路和工作状态, 使  $a_4 \downarrow$





## 6.4 混频器的干扰

### 五、包络失真和阻塞干扰

#### 1. 包络失真

**包络失真**是指由于混频器的“非线性”，输出包络与输入包络不成正比。当输入信号为一振幅调制信号时（如 AM 信号），混频器输出包络中出现新的频率分量。

**措施：**降低谐波次数，线性混频（频谱线性搬移）

#### 2. 阻塞干扰

强干扰作用于混频器，使其增益下降，输出减小，信噪比降低，甚至完全收不到信号，称为**阻塞**。

**措施：**增大晶体管的动态范围，增加反馈，提高选择性。



## 6.4 混频器的干扰

### 六、倒易混频干扰

**倒易混频干扰**表现为当有强干扰信号进入混频器时，混频器输出端的噪声加大，信噪比降低。

强干扰  $u_j$  作为本振与边带噪声混频，得到中频信号。

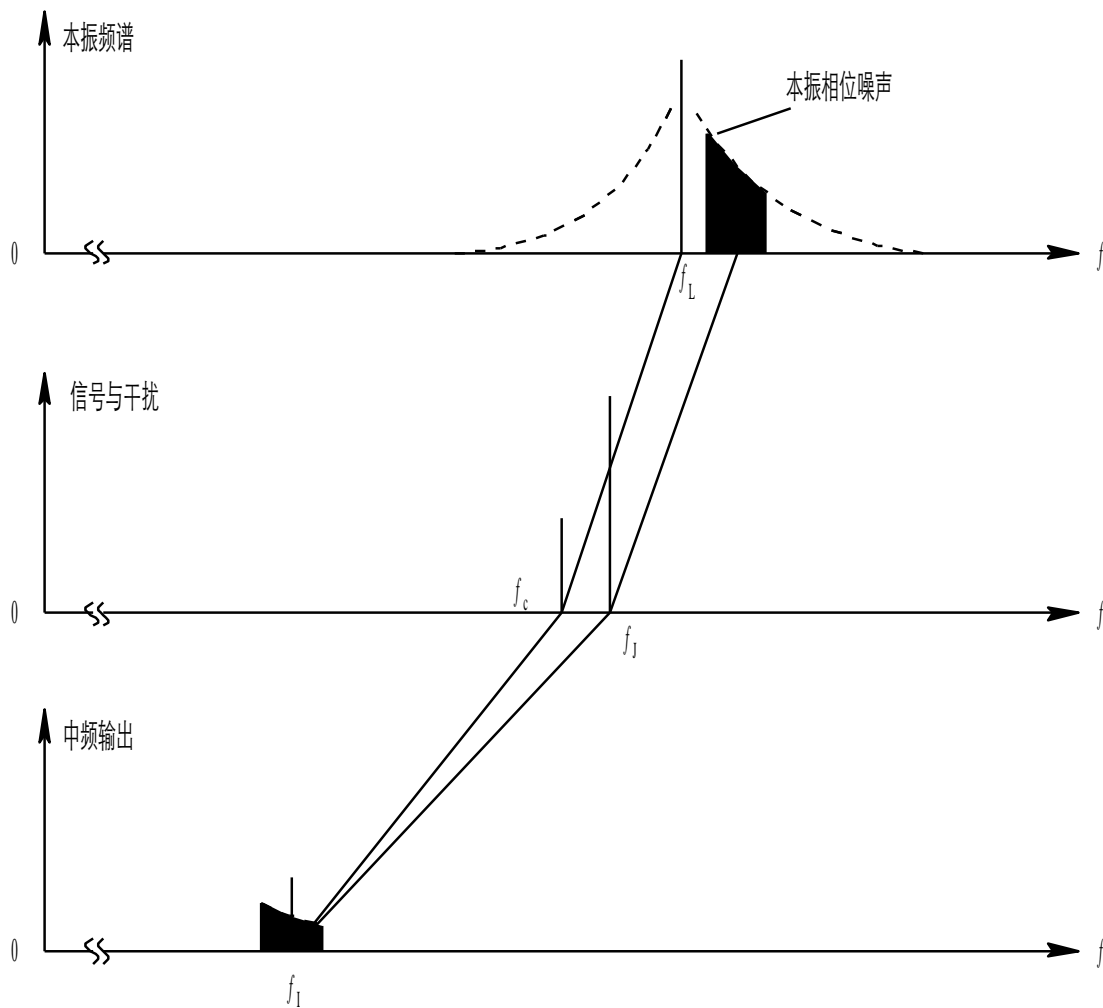
本振边带噪声作为输入信号，输入的强干扰作为本振

道易混频没有频率限制，只要有强干扰，把距离为中频的本振边带噪声转换成中频通带内，造成信噪比下降



## 6.4 混频器的干扰

### 六、倒易混频干扰





# 频率变换电路 小结

## 频谱的线性搬移

1. 原理： 非线性器件 + 滤波器

2. 质量指标：

变换增益（调制增益、变频增益），失真

3. 分析方法：

级数展开，线性时变电路

4. 电路

只要能产生输入的两个信号的乘积项的电路即可。

二极管（单二极管、平衡二极管，环形二极管），三极管、场效应管，差分对（模拟乘法器）等



## 频率变换电路 小结

调制器和混频器电路不同的是输入输出回路、工作状态、滤波回路等。

### 5. 干扰与失真

干扰哨声、副波道干扰、交调干扰、互调干扰；  
惰性失真、底部切削失真；