

什么是倒易混频

原创 皮诺曹 射频通信链 2025年11月10日 10:53 江苏



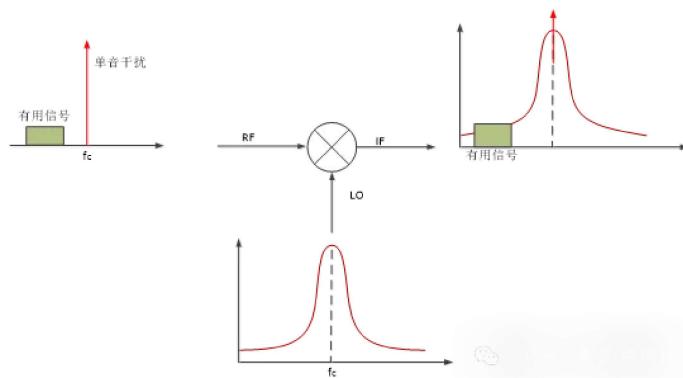
射频通信链

让射频学习不再困难，学射频，学通信，就看射频通信链。

397篇原创内容

公众号

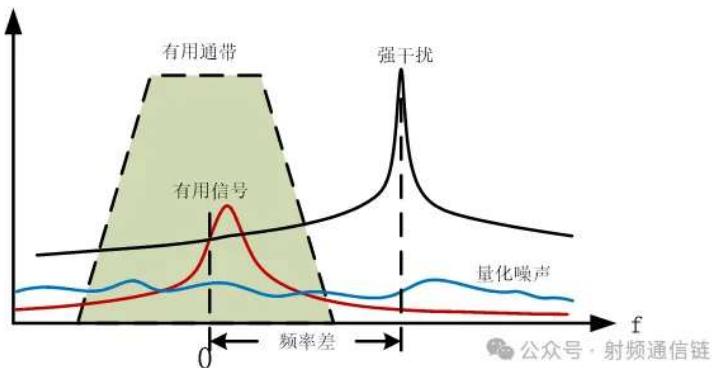
第一次听到倒易混频这个概念还是刚入行的时候，两个高手在那讨论，听得我一愣一愣的。倒易混频是一种在接收机（特别是超外差接收机）中发生的干扰现象。它描述了强干扰信号与本振信号的相位噪声边带进行混频，产生落入中频（IF）通带内的噪声分量，从而降低接收机对微弱期望信号的信噪比（SNR）或灵敏度。



一、定义与物理机制

1.1 核心定义

倒易混频是指当混频器输入端存在强干扰信号时，由于本振(LO)相位噪声的存在，干扰信号与本振噪声边带发生混频，产生的噪声分量落入中频通带内，导致输出信噪比恶化的现象。



1.2 名称由来

这种现象被称为"倒易"是因为其过程与传统混频相反：

正常混频：本振(纯净信号) \times 射频(含噪声的信号)

倒易混频：强干扰信号(相当于本振) \times 本振噪声边带(相当于输入信号)

1.3 物理影响

强干扰信号将本振的相位噪声"搬移"到了中频带内，相当于抬高了接收机的噪底，严重影响接收机对大动态范围信号的接收能力。

二、公式推导

2.1 基本混频方程

设混频器输入信号为：

$$\text{有用信号: } u_s(t) = V_s \cos(\omega_s t)$$

$$\text{干扰信号: } u_i(t) = V_i \cos(\omega_i t)$$

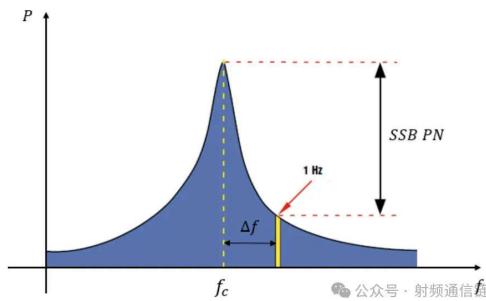
$$\text{本振信号(含相位噪声): } u_{LO}(t) = V_{LO} \cos[\omega_{LO} t + \phi_n(t)]$$

其中 $\phi_n(t)$ 表示本振的随机相位噪声。

2.2 相位噪声模型

相位噪声通常用单边带相位噪声功率谱密度表示：

$$L(\Delta f) = 10 \log(P_{noise}(f_{LO} + \Delta f) / P_{carrier}) (\text{dBc/Hz})$$



2.3 倒易混频噪声推导

混频器作为非线性器件，输出包含乘积项：

$$u_{out}(t) = k \cdot u_{RF}(t) \cdot u_{LO}(t)$$

当存在强干扰时，干扰信号与本振噪声的混频产物为：

$$u_{rec}(t) = V_i \cos(\omega_i t) \cdot V_{LO} \phi_n(t) \sin(\omega_{LO} t)$$

该项产生的噪声功率谱在中频处为：

$$N_{rmi} = P_{int} + L(\Delta f) + 10 \log(B) (\text{dBm})$$

其中：

P_{int}: 干扰信号功率(dBm)

L(Δf): 在频率偏移 $\Delta f = |f_i - f_s|$ 处的相位噪声 (dBc/Hz)

B: 中频带宽(Hz)

2.4 信噪比恶化计算

接收机总输入噪声：

$$N_{\text{total}} = N_{\text{thermal}} + N_{\text{rmi}}$$

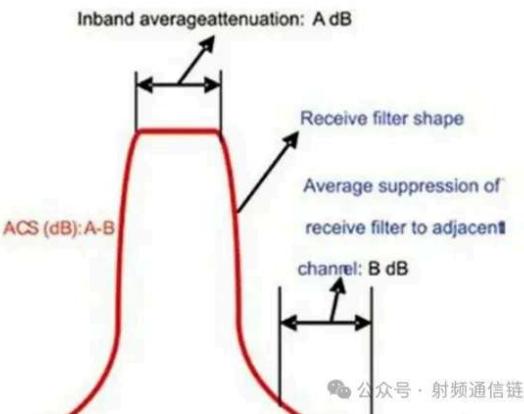
其中热噪声 $N_{\text{thermal}} = -174 + \text{NF} + 10 \log(B)$ (dBm)

信噪比恶化量: $\Delta \text{SNR} = 10 \log_{10}(1 + N_{\text{rmi}}/N_{\text{thermal}})$

2.5 工程应用公式

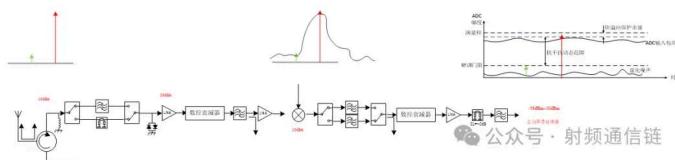
邻道选择性(ACS)计算:

$$\text{ACS1} = L(\Delta f) - (-174 + \text{NF}) - S_{\min}$$



其中 S_{\min} 为接收机灵敏度(dBm)。

$$\text{阻塞电平计算: } P_{\text{block}} = L(\Delta f) - (-174 + \text{NF})$$



三、工程影响与优化措施

3.1 关键性能指标

倒易混频直接影响接收机的:

阻塞灵敏度(Blocking Sensitivity)

邻道选择性(Adjacent Channel Selectivity)

动态范围(Dynamic Range)

3.2 改善措施

措施	原理	效果
降低本振相噪	优化VCO设计, 提高Q值, 降低闪烁噪声	从根本上减少噪声源
前端滤波	在LNA前增加窄带滤波器	抑制干扰信号强度
提高线性度	使用高IIP3的混频器	减少互调产物
自适应增益控制	检测强干扰时降低前端增益	避免混频器过载

四、总结要点

本质是相位噪声问题: 倒易混频不是非线性产物, 而是线性过程的噪声叠加

大信号才能触发：只有强干扰信号才会使本振噪声显著倒易混频

无法通过滤波消除：混入中频的噪声与信号同频，中频滤波器无法抑制

系统设计关键：高动态接收机设计必须优先考虑本振相位噪声指标

通过理论推导、公式计算和仿真验证三者结合，可以准确评估和优化接收系统的倒易混频性能，确保在复杂电磁环境下可靠接收微弱信号。

最后的话

如果你对射频面试没把握，要提前准备，射频通信链准备全方位的射频培训——射频入门及提高。入门针对射频小白，详细讲解射频设计与器件。

提高：射频收发系统的指标设计与分解可以系统的学习射频设计，从器件到方案，从模块到系统，全方位学习射频的设计。

相信能帮助你走的更快、更稳、更远！感兴趣扫码咨询。



皮诺曹

“射频工程师加油”

喜欢作者

作者提示: 个人观点, 仅供参考