

## 互调对收发的影响

原创 皮诺曹 射频通信链 2025年11月7日 11:43



### 射频通信链

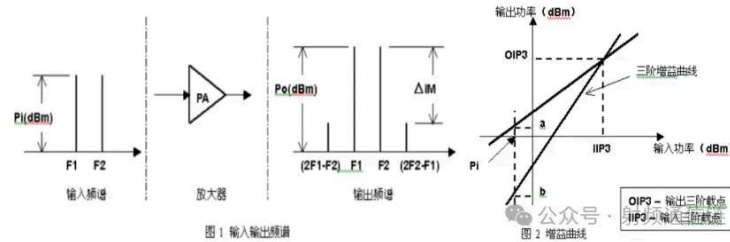
让射频学习不再困难，学射频，学通信，就看射频通信链。

396篇原创内容

公众号

互调失真

互调失真（Intermodulation Distortion, IMD）源于射频系统中器件的非线性特性。当多个不同频率的信号通过放大器、混频器等非线性元件时



当输入为双音信号时

Inputs:

$$x(t) = A_1 \cos w_1 t$$

$$N(t) = A_2 \cos w_2 t$$

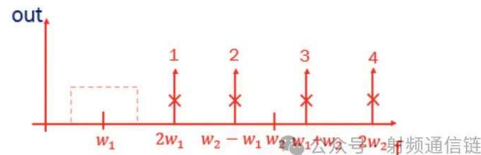


Output:

$$y(t) = a_1 \cdot in + a_2 \cdot in^2 + a_3 \cdot in^3$$

$$y(t) = a_1 \cdot (A_1 \cos w_1 t + A_2 \cos w_2 t) + a_2 [A_1^2 (\cos w_1 t)^2 + A_2^2 (\cos w_2 t)^2 + 2A_1 A_2 \cos(w_1 t) \times \cos(w_2 t)] + a_3 [A_1^3 (\cos w_1 t)^3 + A_2^3 (\cos w_2 t)^3 + 3A_1 \cos w_1 t \times A_2^2 (\cos w_2 t)^2 + 3A_2 \cos w_2 t \times A_1^2 (\cos w_1 t)^2]$$

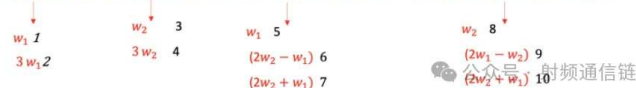
A.  $a_1 \cdot (A_1 \cos w_1 t + A_2 \cos w_2 t)$



结果A是线性系统的输出，BC都不是想得到的非线性。

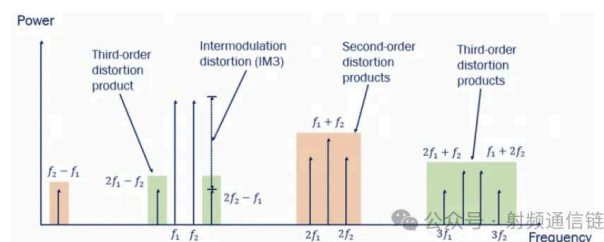
B.  $a_2 [A_1^2 (\cos w_1 t)^2 + A_2^2 (\cos w_2 t)^2 + 2A_1 A_2 \cos(w_1 t) \times \cos(w_2 t)]$

C.  $a_3 [A_1^3 (\cos w_1 t)^3 + A_2^3 (\cos w_2 t)^3 + 3A_1 \cos w_1 t \times A_2^2 (\cos w_2 t)^2 + 3A_2 \cos w_2 t \times A_1^2 (\cos w_1 t)^2]$



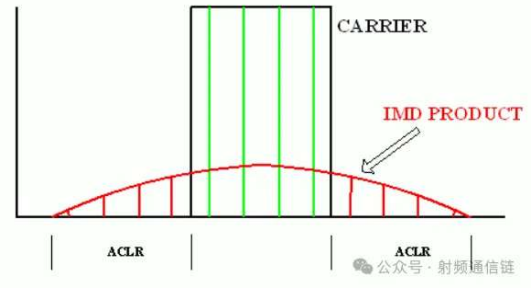
在线性系统中，输出只有两个频率分量 $w_1 + w_2$ ， $w_1 - w_2$

非线性中，按照 $y = a_1 \cdot in + a_2 \cdot in^2 + a_3 \cdot in^3$ 我们总共得到 16 个不同的频率. 对这些不想要的频率1、2、3、4、5、7、8和10可以滤掉，离主频比较远。

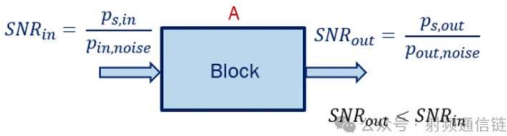


比较近的二阶互调 $2f_1 - f_2$ ,  $2f_2 - f_1$ ，很难通过滤波器滤除。

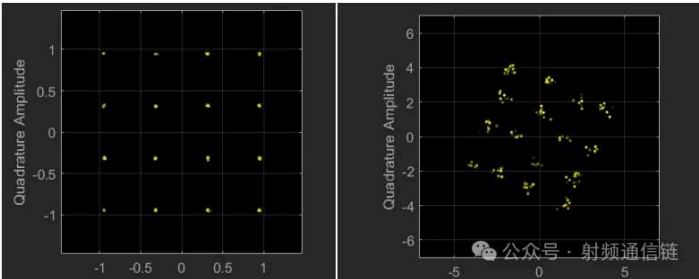
从信号调制的角度来说，一个带宽为BW的调制信号，起始频率为f1，终止频率为f2，BW=f2-f1，互调就落在了信号带宽的附近，也就是频谱泄露。在指标中用ACLR来表示。



从信噪比的角度来说就是信噪比会恶化。



在星座图表示就是



从接收机来说

互调失真等效于引入了额外噪声，导致：

接收机检测门限提高，系统灵敏度下降

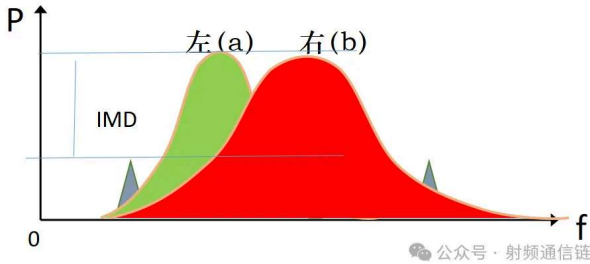
动态范围压缩：其中与OIP3直接相关

多系统协同干扰

在多发射机共址场景下，互调产物会级联产生：

发射机A的信号进入发射机B的功放级，产生  $f_C=2f_A-f_B$  等无序频谱

这些产物可能干扰民航导航、广播电视等关键业务，形成“背景噪声”



所以，互调是射频系统的一个关键性指标

缓解策略与工程设计

功率回退：确保放大器工作在远离1dB压缩点的区域，通常OIP3比P1dB高10-15dB

器件选型：优先选择OIP3>40dBm的高线性度器件，尤其在基站前端

链路隔离：在多发射机场景，增加天线隔离度、使用环形器防止反向注入

滤波优化：严格抑制带外强干扰信号，降低进入非线性区的激励电平

系统级仿真指导设计余量分配

总结

互调失真 是射频系统非线性的直接体现，其影响从微观器件的泰勒级数展开，延伸至宏观系统容量受限。实际工程中需理论建模→指标分配→实测验证→迭代优化闭环管理，重点控制OIP3与功率回退量，才能确保系统在复杂电磁环境下的鲁棒性。

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