

ITU-R SM.1134-1建议书<sup>\*, \*\*</sup>

## 陆地移动业务中互调干扰的计算

(1995-2007年)

## 范围

本建议书为计算最多三种互调干扰提供了依据，接收机输出端出现的这种互调干扰，是接收机幅度响应的非线性在接收机输入端产生的强烈无用信号引起的。

## 关键词

互调干扰、无用信号、非线性

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 在大多数典型情况下，确定陆地移动业务干扰的主要因素包括：
  - 由两个（或更多个）高电平干扰信号产生的带内互调产物；
  - 当来自其他发射机的任何其他信号出现在受影响的发射机的RF级输入级，就会在发射机产生无用发射；
  - 有用和干扰的信号幅度是随机变量；
- b) 两个（或更多个）无用信号必须具有特定的频率，造成互调产物落入接收机频带内；
- c) 由两个以上的幅度很高的无用信号引起互调干扰的概率非常小；
- d) 互调干扰计算程序将为陆地移动业务的频谱利用效率的提高提供一个的有用的方法，

建议

- 1 应使用附件1中提出的接收机互调模型进行陆地移动业务的互调干扰计算；
- 2 互调干扰计算应遵循以下的程序，详情见附件1；
  - 2.1 确定随机有用信号功率在接收机输入端的均值和偏差值；
  - 2.2 确定一个随机互调干扰信号功率在接收机输入端的平均值和偏差值；
  - 2.3 确定接收时出现接收机自身以及由发射机互调产生的互调产物的概率；

---

\* 应提请无线电通信第8研究组注意本建议书。

\*\* 无线电通信第1研究组于2018和2019年根据ITU-R第1号决议对此建议书进行了编辑性修正。

3 受互调干扰影响的区域以及相应的干扰发射机与接收机间的必要地理间隔应根据给定的干扰概率值来确定，如附件1所述。

## 附件1

### 互调模型

本附件描述了两个互调模型；接收机互调（RXIM）模型和发射机互调（TXIM）模型。它分成5个小节。

第1节概述了计算接收机互调干扰的通用公式。第2节描述了RXIM的测量程序。第3节概述了使用通用公式来评估接收互调干扰的程序。第4节概述了发射机互调干扰的公式。第5节描述了如何计算RXIM和TXIM干扰的概率。

#### 1 接收机互调分析模型

两信号、三阶互调干扰功率由以下公式给出（前CCIR 522-2报告，1990年，杜塞尔多夫）：

$$P_{ino} = 2(P_1 - \beta_1) + (P_2 - \beta_2) - K_{2,1} \quad (1)$$

其中：

$P_1$ 和 $P_2$ ： 分别为在频率 $f_1$ 和 $f_2$ 上的干扰信号功率

$P_{ino}$ ： 在频率 $f_0$  ( $f_0 = 2f_1 - f_2$ )上的三阶互调产物功率

$K_{2,1}$ ： 三阶互调系数，可以根据三阶互调测量结果计算得到或从设备参数获得

$\beta_1$ 和 $\beta_2$ ： 分别为距工作频率 $f_0$ 频偏为 $\Delta f_1$ 和 $\Delta f_2$ 处的RF频率选择性参数。

例如 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 值可以通过计算失谐频率的信号衰减的公式得到：

$$\beta(\Delta f) = 60 \log \left[ 1 + \left( \frac{2 \Delta f}{B_{RF}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

其中 $B_{RF}$ 是接收机的RF带宽。

值得注意的是，对一个工作在VHF和低UHF频带的陆地移动模拟无线电接收机的一组特定的三阶互调测量值，由公式（1）可以得到以下公式[1974年，McMahon]：

$$P_{ino} = 2P_1 + P_2 + 10 - 60 \log(\sigma f) \quad (3)$$

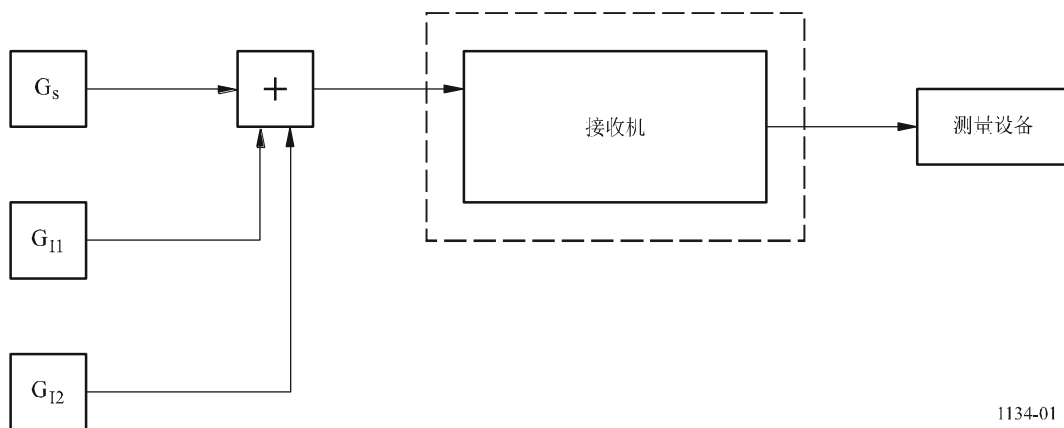
其中 $\sigma_f$ 是平均频率偏差 (MHz)，等于：

$$\frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2}$$

## 2 接收机互调干扰特性

在图1中， $G_s$ 是有用信号 (WS) 的信号发生器。 $G_{I1}$ 和 $G_{I2}$ 是构成了RXIM产物的干扰信号 (IS) 的信号发生器。这些信号作用于接收机 (RX) 的输入端。

图1  
接收机互调的测量框图



1134-01

当测量RX互调特性时，来自发生器 $G_{I1}$ 和 $G_{I2}$ 的两个IS有相同的幅度，来自发生器 $G_s$ 的WS的幅度为 $P_{sr}$ ，它们都输入到RX的输入端。第一个IS频率失谐为 $\Delta f_0$ ，第二个IS的失谐近似等于 $2\Delta f_0$ 。在RX输入端的两个IS幅度逐步增加，直到达到 $P_I(IM)$ ，WS的接收质量降低到不能再降的一个特定值。接收质量很明显与保护比A有关。

注意到：

$P_{sr}$ : 无线电接收机的灵敏度(dBW)

$P_I(IM)$ : 接收机测量到的互调灵敏度，(dBW)。

因此，按照公式 (1)：

$$P_{ino} = 3P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - K_{2,1} \quad (4)$$

该值与 $P_{sr}$ 的关系如下：

$$P_{sr} - A = P_{ino} \quad (5)$$

因此 $K_{2,1}$ 为：

$$K_{2,1} = 3P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2\Delta f_0) - P_{sr} + A \quad (6)$$

### 3 接收机互调分析程序

#### 3.1 通用模型

满足以下两个条件时，互调产物会对接收机造成干扰：

$$F_R - 0.5 \cdot B_{IF} \leq f_{IMP} \leq F_R + 0.5 \cdot B_{IF} \quad (7)$$

并且：

$$P_s - P_{ino} < A \quad (8)$$

其中：

- $f_{IMP}$ : 审议中的IMP频率
- $F_R$ : 接收机的频率调谐
- $B_{IF}$ : 中频级（IF stage）的通带值，或在没有中频级时的基带滤波器带宽
- $P_s$ : 有用信号的功率(dBm)
- $P_{ino}$ : 重新计算的接收机输入端的等效IMP干扰功率(dBm)
- $A$ : 同信道保护比。

$P_{ino}$ 由公式（1）给出。考虑到公式（1），条件（8）可改写为：

$$2P_1 + P_2 - P_s > R_0 \quad (9)$$

其中：

$$R_0 = -A + 2\beta_1 + \beta_2 + K_{2,1} \quad (10)$$

#### 3.2 基于截距点的IMP计算方法

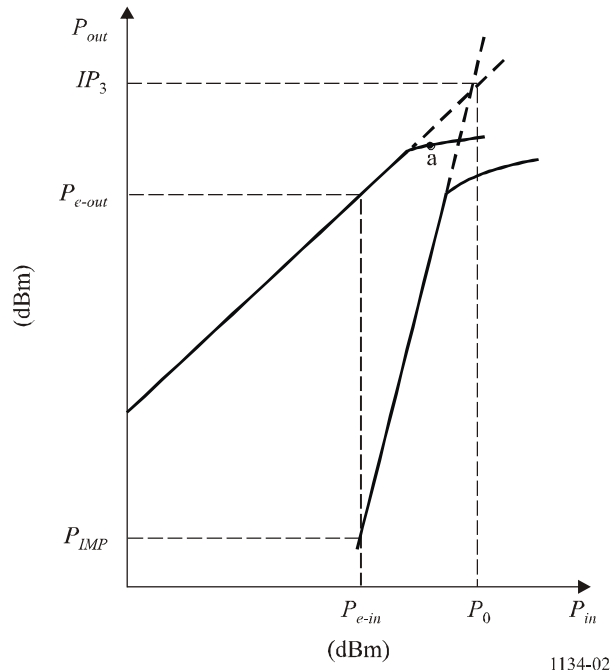
**3.2.1** 若没有机会测量接收机的 $K_{2,1}$ 因数，确定IMP干扰一个简便的办法是利用第*i*阶的参数，其中*i* = 2、3和5以及同阶的 $IM_i$ 因数，将它们用作现代接收机输入级(预选器和混合器)的微电路。相关规范提供了 $IP_i$ 和 $IM_i$ 参数。

$IP_3$ 是最为普遍的参数（《国际电联频谱监测手册》第6.5段，2002年）- “三阶截距点” - 理论层次，此层次的三阶IMP电平等于经重新计算的非线性组件（见图2）输出端入局信号的具体电平（例如 $2f_1 - f_2$ 和 $2f_2 - f_1$ 这两个生成IMP的相等信号）。

$IP_i$ 参数代表接收机输入级的线性程度，即其生成相应阶的IMP的能力。 $IP_i$ 电平越高，接收机的线性越好，即动态范围也越广泛，因此产生IMP的入局信号电平就越高，接收机的抗IMP干扰能力也就越强。

$IM_i$ 因数代表接收机易受相应阶IMP影响的程度。它们代表接收机输出端IMP电平与其输入端（在输出端生成IMP的同等信号）入局信号电平的关系。

图2  
三阶截距点 $IP_3$



1134-02

表1展示了最著名厂商提供的接收机（预选器和混合器）输入级使用的微电路的参数平均值和变量限值。可从相关设备的工程规范中得到这些参数的具体数值。表1中的 $G$  参数代表预选器的放大系数，而dBc则确定了与发射的非调制载波功率相关的分贝数。

表 1

接收机输入级的微电路参数

$G$ (dB)	$IP_3$ (dBm)	$IM_2$ (dBc)	$IM_3$ (dBc)	$IM_5$ (dBc)
$12 \pm 5$	$28 \pm 5$	$-24 \pm 5$	$-30 \pm 5$	$-35 \pm 5$

表2提供了可归入接收机IF通带类的IMP组件的计算公式，提供的内容包括：

- $f_{IMP}$ : 两或三个入局信号生成的第二、第三和第五阶IMP频率
- $P_{e-in}$ : 接收机输入端等效入局信号功率 – 同等 $P_{e-in}$ 电平接收机输出端的两或三个入局信号正在生成的IMP，与 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  这些电平不同的入局信号生成的IMP相同。
- $P_{IMP}$ : 输入端的两或三个入局信号产生的第二、第三和第五阶IMP电平，其中的 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  – 为处于相应的 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  频率的入局信号功率。 $P_{IMP}$ 值表示为 $IP_i$ 和 $IM_i$ 。

表 2

两或三个无用入局信号下的第二、第三和第五阶IMP干扰

频率, $f_{IMP}$	$f_g \pm f_h$ ( $f_g > f_h$ )	$2f_g - f_h$	$f_k + f_l - f_m$	$3f_g - 2f_h$	$2f_k - 2f_l + f_m$
产物的阶和类型	2 (1; 1)	3 (2; 1)	3 (1; 1; 1)	5 (3; 2)	5 (2; 2; 1)
$P_{e-in}$ (dBm)	$(P_g + P_h)/2$	$(2P_g + P_h)/3$	$(P_k + P_l + P_m)/3$	$(3P_g + 2P_h)/5$	$(2P_k + 2P_l + P_m)/5$
$P_{IMP}$ (dBm)	$2(P_{e-in} + G) - IP_2$	$3(P_{e-in} + G) - 2IP_3$	$3(P_{e-in} + G) - 2IP_3 + 6$	$5(P_{e-in} + G) - 4IP_5$	$5(P_{e-in} + G) - 4IP_5 + 9.5$
	$IM_2 + P_{e-in}$	$IM_3 + P_{e-in}$	$IM_3 + P_{e-in} + 6$	$IM_5 + P_{e-in}$	$IM_5 + P_{e-in} + 9.5$

表2中的IMP频率 $f_{IMP}$ 和各脚注指数IMP电平 $P_{e-in}$ 是按以下方法确定的。

对于两个入局信号： $g$ 和 $h$ 指数都在以下条件下接受1和2两值当中的一个：

$$g + h = 3$$

对于三个入局信号： $k$ 、 $l$ 和 $m$ 指数都在以下条件下接受1、2和3这三个值当中的一个：

$$k + l + m = 6$$

为不同IMP组件进行的IPM电平 $P_{e-in}$ 计算，应采用与计算这些组件的频率 $f_{IMP}$ 相同的指数分布。

表2还显示了在不同入局信号电平情况下的组件数量 $f_{IMP}$ 和可能存在的不同阶的不同IMP电平 $P_{e-in}$ 的数量。从 $P_{e-in}$ 公式可以断定，在入局信号电平不同的情况下，同阶输出端的不同IMP组件也具有可用此方法进行计算的各种电平。

将表2的 $P_{IMP}$ 值等量化，便可看出 $IP_i$ 和 $IM_i$ 电平之间的关系：

$$IP_2 = P_{e-in} + 2G - IM_2$$

$$IP_3 = P_{e-in} + 0.5(3G - IM_3)$$

$$IP_5 = P_{e-in} + 0.25(5G - IM_5)$$

经重新计算的接收机输入端 $P_{ino}$ 的等效IMP电平是相等的：

$$P_{ino} = P_{IMP} - G$$

为弱化无用入局干扰信号，通常在预选器之前的接收机输入端安装双工或通带滤波器。滤波器参数（在其梯形特性下）包括：通带 $B_{RF1}$ 、衰减频带 $B_{RF2}$ 的边缘以及通带外入局信号 $\beta(\Delta f)$ 的衰减（在 $\Delta f > 0.5 \cdot B_{RF2}$ 时，衰减被认为是恒定和相等 $L_F$  dB的）。

此时滤波器的插入损耗(dB)为:

$$\beta(\Delta f) = \begin{cases} 0 & \text{at } |\Delta f| \leq 0.5 \cdot B_{RF1} \\ a \cdot |\Delta f| + c & \text{at } 0.5 \cdot B_{RF1} \leq |\Delta f| \leq 0.5 \cdot B_{RF2} \\ L_F & \text{at } 0.5 \cdot B_{RF2} \leq |\Delta f| \end{cases}$$

其中:  $|\Delta f|$  – 接收机输入端入局信号的频率偏移

$$a = L_F / 0.5 (B_{RF2} - B_{RF1})$$

$$c = -0.5 \cdot a \cdot B_{RF1}$$

预选器 $P_j$ 输入端的信号功率, 此时的频率 $f_j$  ( $j = 1; 2; 3$ ) 等于:

$$P_j = P_{j-in} - \beta(\Delta f)$$

其中 $P_{j-in}$ : 接收机输入端入局信号的功率。

### 3.2.2 IMP 干扰的计算程序包括以下步骤

- 步骤1: 输入滤波器 $\beta(\Delta f_j)$ 确定作用于接收机输入端的入局信号衰减,  $j = 1; 2; 3$ 。
- 步骤2: 计算作用于预选器 $P_j$ 输入端的入局信号电平。
- 步骤3: 确定混合器 $P_{IMP}$ 输出端的IMP电平。
- 步骤4: 对重新计算的接收机 $P_{ino}$ 输入端等效IMP电平的估算。
- 步骤5: 信号的计算 – 接收机 $R$ 输入端的干扰比。
- 步骤6: 信号的比较 – 对干扰比 $R$ 和保护比 $A$ 进行比较, 以确定接收机与具体电磁环境中的其它无线电 – 电子系统的兼容条件。

### 3.2.3 计算实例

我们假设有必要计算接收机中类似 $f_1 + f_2 - f_3$ 的IMP干扰并对其有害影响作出估计。

条目:  $IP_3 = 24$  dBm;  $G = 15$  dB;  $P_{1-in} = -50$  dBm;  $P_{2-in} = -10$  dBm;  $P_{3-in} = -15$  dBm;  $P_s = -114$  dBm;  $A = 9$  dB;  $L_F = 30$  dB。

设接收机输入端入局信号的频偏 $|\Delta f_j| = |F_R - f_j|$ 为:

$$|\Delta f_1| \leq 0.5 \cdot B_{RF1}; |\Delta f_2| > 0.5 \cdot B_{RF2} \text{ and } |\Delta f_3| > 0.5 \cdot B_{RF2},$$

即一个入局信号位于接收机输入滤波器的通带中, 另外两个入局信号 - 在通带之外。

此时:

$$\beta(\Delta f_1) = 0; \beta(\Delta f_2) = \beta(\Delta f_3) = 30 \text{ dB}$$

$$P_j = P_{j-in} - \beta(\Delta f_j); P_1 = -50 \text{ dBm}; P_2 = -40 \text{ dBm}; P_3 = -45 \text{ dBm}$$

我们借助表2的等式计算 $P_{e-in}$ 和 $P_{IMP}$ :

$$P_{e-in} = (-50 - 40 - 45) / 3 = -45 \text{ dBm}$$

$$P_{IMP} = 3(-45 + 15) - 2 \cdot 24 + 6 = -132 \text{ dBm}$$

$$P_{ino} = P_{IMP} - G = -132 - 15 = -147 \text{ dBm}$$

$$R = P_s - P_{ino} = -114 - (-147) = 33 \text{ dBm}$$

$R > A$  并因此根据等式(8)提供兼容性。

#### 4 发射机互调产物的功率

在发射机中产生并随后到达接收机的互调产物的功率 $P_i$ 可表示为:

$$P_i = P'_2 - \beta_{12} - \beta_{10} - K_{(2),1} - L_{10} \quad (11)$$

其中:

- $P'_2$ : 受影响发射机(频率为 $f_1$ )输入终端的干扰发射机功率(频率为 $f_2$ ), 其中产生互调产物(dBW)
- $\beta_{12}, \beta_{10}$ : 分别由频率为 $f_1$ 的受影响发射机的输出和天线电路、频率为 $f_2$ 的干扰发射机以及频率为 $f_0$ 的互调产品造成的衰减(dB)
- $K_{(2),1}$ : 发射机的互调转换损耗(dB), 有别于等式(1)中的 $K_{2,1}$
- $L_{10}$ : 频率为 $f_1$ 的发射机和接收机之间路径中的互调产物衰减(dB)。

TXIM引发干扰的时机是:

$$P_s - P_i < A \quad (12)$$

其中 $A$ 是共信道保护比。

## 5 干扰概率

### 5.1 RXIM干扰概率

ITU-R P.370、ITU-R P.1057和ITU-R P.1146建议书指出, 由于衰减的原因, 有用和干扰信号电平为对数正态分布的随机变量。因此, 以dBW表示的条件(9)左侧代表独立正态随机量, 并构成一个正态随机量。随机量 $R = 2P_1 + P_2 - P_s$ 的平均值 $\bar{R}$ 和色散 $\sigma_R^2$ 分别等于:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 2P_{1m} + P_{2m} - P_{sm} \\ \sigma_R^2 &= 4\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_s^2 \end{aligned}$$

其中:

$P_{1m}, P_{2m}, P_{sm}$ 为平均值, 而 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_s^2$ 为接收机输入端有用和干扰信号功率电平的色散(根据ITU-R P.370、ITU-R P.1057和ITU-R P.1146建议书所含数据确定)。

### 5.2 TXIM干扰概率

考虑到等式(11), 条件(12)假设的形式为:

$$P'_2 - P_s - L_{10} > T_0 \quad (13)$$



其中:

$$T_0 = \beta_{12} + \beta_{10} + K_{(2),1} - A$$

随机量的平均值  $\bar{T}$  和色散  $\sigma_T^2$  :

$$T = P'_2 - P_s - L_{10}$$

分别等于:

$$\bar{T} = P'_{2m} - P_{sm} - L_{10m}$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_2^2 + \sigma_s^2 + \sigma_1^2$$

其中:

$P'_{2m}, P_{sm}, L_{10m}$ : 平均值

$\sigma_2^2, \sigma_s^2, \sigma_1^2$ : 随机量色散  $P'_2, P_s, L_{10}$ 。

### 5.3 互调产物概率

在接收机本身以及因发射机互调（分别为条件(9)和(13)）产生的互调产物将在接收期间出现的概率  $\alpha$  等于:

$$\alpha = \int_x^\infty e^{-t^2/2} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}} \quad (14)$$

$x = (R_0 - \bar{R}) / \sigma_R$ : 关于确定互调产物在接收机中出现的概率（条件(9)）;

$x = (T_0 - \bar{T}) / \sigma_T$ : 关于确定发射机中出现的互调产物引发干扰的概率（条件(13)）。

在根据一特定干扰概率值  $\alpha$  确定受互调干扰区域时，首先通过等式(14)确定  $x$  值。既然已知  $P_{sm}$  值，便可以确定  $P_{1m}$  和  $P_{2m}$ （或  $P'_{2m}$  和  $L_{10m}$ ）的允许值，以及受干扰区域所依赖的干扰发射机和接收机之间的相应必要地理间隔。