

# 一种预测同轴电缆组件 PIM 的简单模型

李义胜, 梁建刚, 徐安民

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**同轴电缆组件中 PIM 问题的研究是现代大功率通信系统中的一个重要课题。文中介绍了一种同轴电缆组件的等效模型,根据此模型可以预测电缆组件产生的 PIM 与频率、电缆长度的关系,这对于通信系统中电缆组件的要求和使用具有指导意义。

**关键词:**PIM;同轴电缆;等效模型;预测

**中图分类号:**TN454 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)04-0040-03

由于易于安装和其它机械方面的考虑,使得同轴电缆广泛应用于现代通信,特别是舰载通信和星载通信。在多频通信系统中,同轴电缆馈电系统和连接接头可能是一个主要的干扰源<sup>[1]</sup>,这是因为它们在微波频段具有非线性特性。这些器件的非线性电压-电流特性在单频通信系统中产生传输频率的谐波。在移动通信系统中,它上面有许多发射机和接收机结合在一起,共用一个馈源,形成所谓的共用天线工作(CAW)系统,不同频率的若干信号同时通过一个电缆-连接器组件。在这种多频同时传输的情况下,不仅产生谐波,而且也会产生交调产物<sup>[2]</sup>。此外,由于主信号和电缆或接头的邻近发射机发射的信号相混合,在只传送单频信号的电缆中也会产生交调产物。

由于器件中的 PIM 电平很难准确预测,经常用测量数据来表征,其中三阶互调产物是奇数阶互调产物中功率电平最高的一个,相比较而言是最容易测量的一个。本文的目的是给出同轴电缆组件中 PIM 的简单等效模型,利用这个模型来预测同轴电缆组件中产生的互调产物的功率电平。

## 1 同轴电缆 PIM 电平的预测

### 1.1 PIM 测量装置

同轴电缆组件(或任何二端口射频器件)有两种形式的 PIM 响应:反射 PIM 和直通 PIM,其测量装置如图 1 所示。

与现有大多数 PIM 测量设备不同的是,此装置可以同时测量直通和反射 PIM 电平,而不用重新架设电缆,使直通和反射 PIM 之间的不确定性减至最小。

### 1.2 电缆组件 PIM 模型

为了便于理解同轴电缆组件中的直通和反射 PIM 特性,考虑如图 2 所示的电缆组件模型:

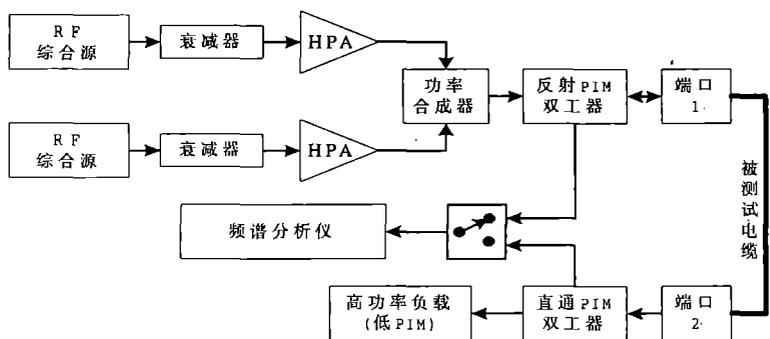


图 1 PIM 测量装置方框图

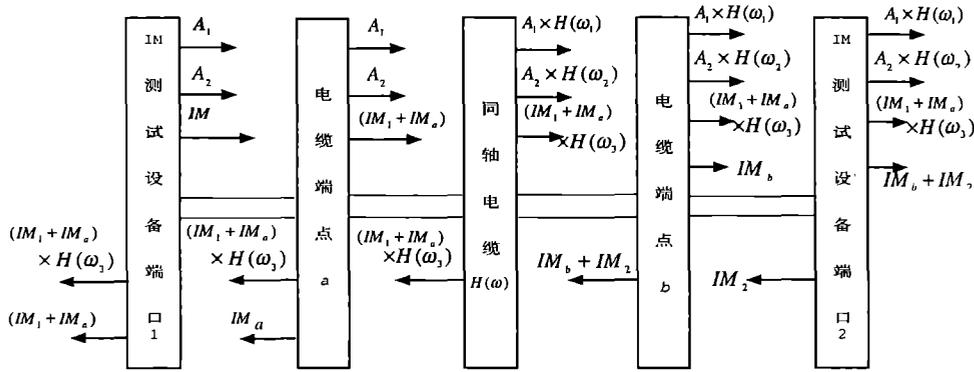


图2 同轴电缆组件的等效模型

在此模型中,假定电缆组件中的 PIM 仅在连接处产生,也就是说,相对连接接头,电缆本身产生的 PIM 可以忽略。然而,电缆对沿线传输的信号会产生损耗和群延迟,这可以用图 2 中的传输函数  $H(\omega)$  来表示。

电缆接头产生的 PIM 用  $IM_a, IM_b$  表示。此模型中假定 PIM 是在每个接头的一点产生的,同时假定 PIM 一旦产生,将沿两个方向等量传输。模型左边是端口 1,在此端口入射两个信号,分别用  $A_1, A_2$  表示。

PIM 测试装置也产生 PIM,分别用  $IM_1, IM_2$  表示端口 1 和端口 2 产生的 PIM 电平。与电缆组件模型中产生 PIM 一样,它们也向两个方向传输。假定端口 1 与电缆 a 端是并置的,即它们之间的电距离可以忽略,端口 2 与电缆 b 端也是如此。这样,考虑到测量组件的整个模型,可以得到:

- 1) 每个测试端口有 4 个 PIM 输入,两个是由电缆接头产生的,两个来自 PIM 分析仪。
- 2) 由电缆 b 端和端口 2 产生的 PIM 经电缆传回,作用到端口 1 所测量的反射 PIM 上。
- 3) 由电缆 a 端和端口 1 产生的 PIM 经电缆传输到端口 2 所测量的直通 PIM 上。

根据这个模型就可以确定电缆组件的 PIM 特性。

### 1.3 PIM 预测

尽管很难预测 RF 器件 PIM 的绝对电平,但用图 2 所示的模型可以较好地表示各独立 PIM 源的相互作用。为了便于计算,只给出每个 PIM 源的三阶响应公式。

端口 1 和电缆 a 端的 PIM 响应为

$$IM_1 = \sigma_1 \exp(j2\omega_1 t - j\omega_2 t) = \sigma_1 \exp(j\omega_3 t) \tag{1}$$

$$IM_a = \sigma_a \exp(j2\omega_1 t - j\omega_2 t) = \sigma_a \exp(j\omega_3 t) \tag{2}$$

式中,三阶 PIM 频率定义为:  $\omega_3 = 2\omega_1 - \omega_2$ ;  $\sigma_1$  为端口 1 的 PIM 系数(端口 1 的 dBc 响应的数值转换,即  $\sigma_1 = 10^{\text{dBc}/20}$ ),  $\sigma_a$  为电缆 a 端的 PIM 系数(电缆 a 端 dBc 响应的数值转换,即  $\sigma_a = 10^{\text{dBc}/20}$ );  $\omega_1, \omega_2$  为载波 1 和 2 的角频率。

端口 2 和电缆 b 端的 PIM 响应有些复杂,这两个响应是载波经传输函数  $H(\omega)$  后产生的。为了简化公式,假定电缆是无耗的,即  $|H(\omega)| = 1$ 。但即使假定电缆是无耗的,在模型中电缆仍然会产生群延迟,故:

$$H(\omega) = \exp(-jkv^{-1}l) \tag{3}$$

式中,  $k = 2\pi/\lambda$  为波数,  $v$  为波在同轴电缆中的传播速度,  $l$  为电缆的长度。

这样,电缆 b 端和端口 2 的 PIM 响应可表示为

$$IM_b = \sigma_1 \exp[(2j\omega_1 t - k_1 v^{-1}l) \exp[-j(\omega_2 t - k_2 v^{-1}l)]] = \sigma_b \exp(j\omega_3 t - k_3 v^{-1}l) \tag{4}$$

$$IM_2 = \sigma_2 \exp[(2j\omega_1 t - k_1 v^{-1}l) \exp[-j(\omega_2 t - k_2 v^{-1}l)]] = \sigma_2 \exp(j\omega_3 t - k_3 v^{-1}l) \tag{5}$$

根据得到的  $IM_1, IM_a, IM_2, IM_b$  表达式,端口 2 的总直通 PIM 可表示为

$$\begin{aligned} \text{直通 PIM(端口 2)} &= H(\omega) \cdot (IM_a + IM_1) + IM_b + IM_2 = \\ &= \exp(-jkv^{-1}l) \cdot [\sigma_a \exp(j\omega_3 t) + \sigma_1 \exp(j\omega_3 t)] + \\ &= \sigma_b \exp(j\omega_3 t - k_3 v^{-1}l) + \sigma_2 \exp(j\omega_3 t - k_3 v^{-1}l) = \\ &= [\sigma_1 + \sigma_a + \sigma_b + \sigma_2] \exp(j\omega_3 t - k_3 v^{-1}l) \end{aligned} \tag{6}$$

这个公式表明 4 个 PIM 信号同相到达端口 2, 与 PIM 频率无关。若各 PIM 源频率无关且电缆损耗是频率的常数, 则整个电缆组件的直通 PIM 与频率无关。

同理, 可以得到端口 1 的反射 PIM 为

$$\begin{aligned} \text{反射 PIM(端口 1)} &= IM_a + IM_1 + H(\omega) \cdot (IM_b + IM_2) = \\ &(\sigma_1 + \sigma_a) \exp(j\omega_3 t) + \exp(-jkv^{-1}l) (\sigma_b + \sigma_2) \exp[j(\omega_3 t - kv^{-1}l)] = \\ &[(\sigma_1 + \sigma_a) + (\sigma_2 + \sigma_b) \exp(-2jk_3v^{-1}l)] \exp(j\omega_3 t) \end{aligned} \quad (7)$$

该式表明, 端口 1 的总反射 PIM 是端口 1 和电缆 a 端的 PIM 与端口 2 和电缆 b 端的 PIM 的相移之和。由于存在相位差, 可以预测反射 PIM 是频率和电缆长度的函数。

## 2 结论

根据这个电缆组件的等效模型, 我们可以得出以下结论:

1) 反射 PIM 电平随 PIM 频率而改变, 因此, 测量单一频率的反射 PIM 电平并不能反映 PIM 对整个系统性能的影响。

2) 合理地选择电缆长度可以导致各 PIM 源之间的相互减弱, 从而产生一个低 PIM 的系统。

3) 温度的改变会引起电缆电长度的变化, 从而影响电缆组件中的 PIM 电平。

以上这些结论与先前的一些研究者所取得的实验结果具有一致性<sup>[3]</sup>, 尽管这只是一种简单的等效模型, 并不是十分精确, 但它对我们理解同轴电缆组件的 PIM 问题具有指导意义。虽然我们只是以同轴电缆组件为例来进行 PIM 预测, 但这个结果可以扩展到任意的二端口器件。

### 参考文献:

- [1] Amin M B. Nonlinear Effects on Coaxial Cables at Microwave Frequencies [J]. Electronic Letters, 1978, 13(25): 768 - 771.
- [2] 费劲峰, 王积勤, 王光明. 甲类固态功效的交调分析与仿真 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2000, 1(5): 32 - 35.
- [3] LEE J. Intermodulation Measurement and Analysis of Some Conducting Materials Commonly Used in Aerospace [J]. IEEE Trans. on EMC1991, 1991, 33(3): 256 - 262.

(编辑: 田新华)

## A Simple Equivalent Model for PIM Prediction of the Coaxial Cable Assembly

LI Yi - sheng, LIANG Jian - gang, XU An - min

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

**Abstract:** The research on PIM of the coaxial cable assembly is one of the important tasks for the modern high power communication system. In this paper, an equivalent model of the coaxial cable assembly is introduced. According to the model, the relationships between PIM produced by the cable assembly, the frequency and the length of the cable can be predicted, which is instructive for the specifications and proper use of the cable assembly in communication systems.

**Key words:** PIM; coaxial cable; equivalent model; prediction