

移动通信天线的无源互调干扰研究

蒋江湖, 吴少周, 张世全

(武警工程学院, 陕西 西安 710086)

[摘要] 对移动通信天线的无源互调干扰问题进行了探讨与分析。介绍了天线系统中的无源非线性及其产生原因,对移动通信天线无源互调的测量进行了一定的探讨,给出了天线PIM测量的典型装置;结合测量实例检验了测量装置的实用性;最后提出了移动通信天线中PIM产物的减小措施。

[关键词] 移动通信天线; 无源互调干扰; 无源非线性

[中图分类号] TM93

[文献标识码] A

随着大功率多通道通信系统的不断涌现,一种潜在的干扰源——无源互调(Passive Intermodulation, PIM)越来越受到人们的关注。无源互调产物通常在多频通信环境中产生,如船载通信系统、军用通信工作站、共用天线安装场所、蜂窝式移动通信基站和卫星通信系统。在现代通信系统中,要求大功率发射系统和高灵敏度接收系统同时存在于同一有限空间内,这种情况下无源互调产物已成为接收系统中不可忽视的寄生干扰。为确保通信系统正常工作,有关无源互调干扰问题的研究应越来越受到重视。

1 移动通信天线的无源非线性

移动通信天线中的PIM干扰来源于天线系统中无源器件的非线性,原则上在天线系统中有两种主要类型的非线性,即接触非线性和材料非线性。前者表示任何具有非线性电流电压关系的非线性的金属接触。松动、被氧化和被污染了的金属接头就是典型的例子。后者表示系统中所用的材料,如铁磁材料、碳纤维和铁、钴、镍合金,这些材料都表现出非线性的伏安特性。这些无源非线性主要位于天线路径中,GSM基站天线路径中的PIM干扰如图1所示。

由于产生非线性效应的机理是相当复杂的,而且尚未完全弄清楚,特别是非线性接触的机理。根据目前的研究,我们可以验证由于天线产生无源互调产物的下列诸项潜在原因:

(1) 系统使用的铁磁材料的非线性磁滞效应。在靠近天线附近使用的大量的铁磁材料,会引起PIM现象。铁磁材料是很强的PIM源。

(2) 承受载波功率的金属—绝缘体—金属(MIM)连接物,它引起非线性特性,导致出现PIM。

(3) 由微小裂缝、微小触须和金属结构中的砂眼引起的微放电可能产生PIM产物。

(4) 在金属接触处穿越氧化薄层的电子隧道效应和半导体行为。

(5) 与脏物和金属粒子有关的非线性所引起的PIM。

(6) 碳纤维的非线性引起的PIM。

(7) 低劣的制造工艺引起松动连接、金属裂缝和连接处的氧化作用,产生PIM。

(8) 所有材料都存在某种程度的非线性,甚至连非铁磁材料也可能呈现PIM现象。

收稿日期:2010-12-25

作者简介:蒋江湖(1986-),男,重庆市梁平县人,武警工程学院硕士生,主要研究方向为无线数据通信、微波器件无源互调干扰分析与测量;吴少周(1987-),男,陕西省宝鸡市人,武警工程学院硕士生,主要研究方向为无线数据通信、电磁理论与无源互调散射场分析;张世全(1962-),男,陕西省西安市人,武警工程学院教授,博士,主要研究方向为无源互调干扰、电磁理论与电磁兼容。

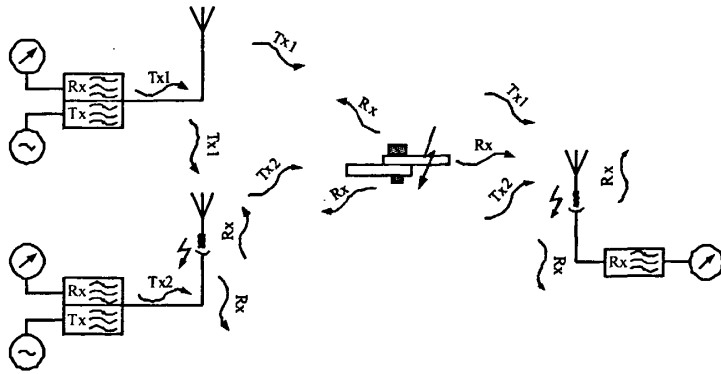


图 1 GSM 基站天线路径中的 PIM

2 移动通信天线 PIM 的测量

一般来说,天线的 PIM 特性是由多个干扰源的复杂综合,这些干扰源在各种不同程度上受一个或多个因素的影响。这些因素的综合作用可以使 PIM 电平增加数十分贝。基于以上原因,PIM 产物随时间明显变化、具有门限效应、对功率电平以无法预测的方式变化等都是不足为奇的。因此,对 PIM 的建模极为复杂,只能对实际 PIM 电平进行相对准确的预测。要精确可靠地估算天线的总体 PIM 行为,只能依靠适当的测量装置进行测量。

2.1 典型测量装置

一般来说,天线 PIM 的测量装置可以分为两大类,即辐射型无源互调测量仪和无辐射型无源互调测量仪。

辐射型无源互调测量仪:这种测量装置适用于对辐射结构的测量,通常在微波暗室或开放场地中进行。它可进一步分为反射型和辐射型。在反射型测量中,当信号辐射经过低 PIM 屏蔽室的自由空间时,通过检查天线反射信号和接收信号的频率响应来测量天线的发射特性。在辐射型测量中,由发射天线让两个或两个以上的发射信号照射被测器件,用第二个天线和适当的滤波器以及射频部件接收和处理来自被测器件的 PIM 发射信号(如图 2 所示)。

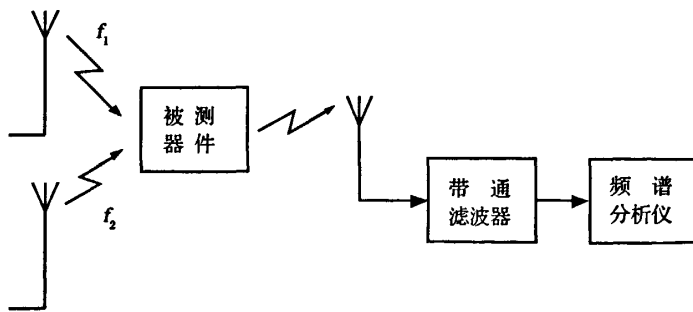


图 2 辐射型无源互调测量仪简化框图

无辐射型无源互调测量仪:这种测量装置适用于测量通信系统中的连接发射机与天线以及天线与接收机之间的无源器件的互调产物,通常在屏蔽室或屏蔽实验室中进行,其装置终端加一匹配负载,理想情况下不辐射任何能量。无辐射型互调测量仪又可分为无辐射传输型和无辐射反射型。无辐射传输型互调测量仪主要用于测量被测器件中正向传输的互调信号,其简化框图如图 3 所示。

双工器用于隔离测量系统自身产生的互调信号,带通滤波器用于传输互调信号到频谱分析仪。无辐射反射型互调测量仪是另一种常用的测量装置,在此测量系统中,给定被测器件之后接上一个虚拟负

载,测量反射方向发射的互调信号,如图 4 所示。

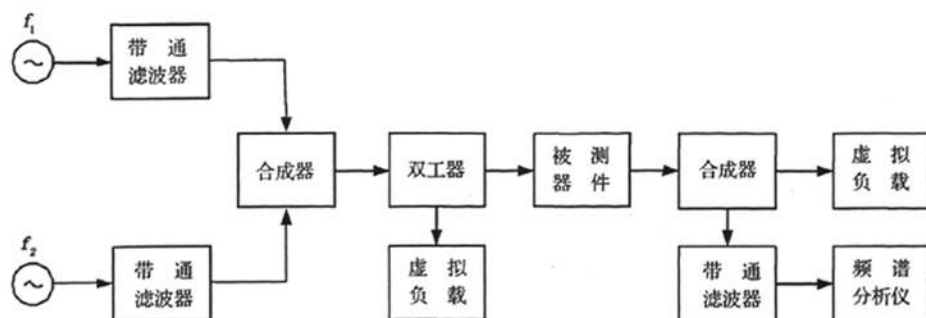


图 3 无辐射传输型无源互调测量仪简化框图

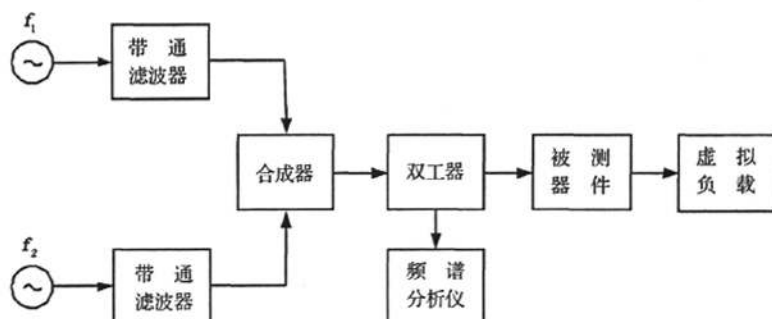


图 4 无辐射反射型无源互调测量仪简化框图

比较这两类测量装置,无辐射型互调测量仪的实验参数和实验环境较容易控制,而辐射型互调测量仪则受本地信号环境影响较大。虽然这两类测量装置的构造、部件和测试装置不同,但其基本设计都是基于双音测试法,即用两个正弦载波输入,对产生的互调信号进行滤波和测量。

2.2 天线 PIM 的测量实例

下面利用图 3 所示的测量装置对双极化板型天线(图 5)的三阶 PIM 特性进行了实际测量。图 6、图 7 分别为天线的水平极化图和垂直极化图,采用 MATLAB 仿真软件绘制。表 1 为三阶互调功率与输入功率之间的关系,互调频率为 910 MHz;表 2 为三阶互调功率与互调频率之间的关系,输入信号功率为 43 dBm(即 20 W)。测量中调节两路输入信号的功率使其相等。



图 5 双极化板型天线外观图

由测量数据可以看出,移动通信天线的三阶互调功率电平随输入信号功率的变化曲线的斜率大约为 3 dB/dB,与理论预测结果基本一致(表 1);在频率为 910 ~ 915 MHz 范围内,对应于输入功率取样点,天线的三阶互调功率电平显示出与互调频率基本无关的特性(表 2),输入载波的频率范围为 935 ~ 960 MHz(GSM 系统基站发射通带)。

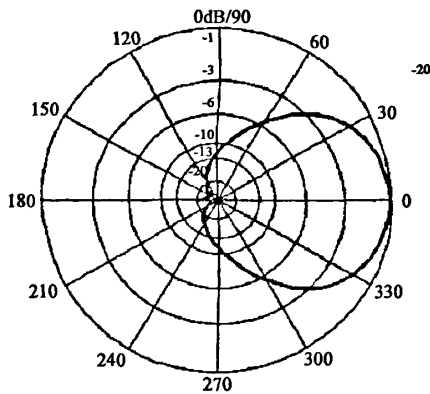


图6 水平极化方向图

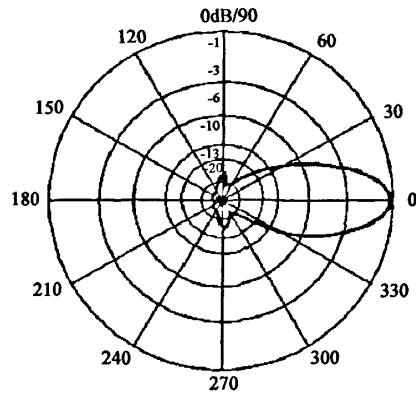


图7 垂直极化方向图

表1 三阶互调功率与输入功率之间的关系

输入功率/dBm	39	40	41	42	43
三阶互调功率/dBm	-119.5	-116.9	-113.8	-110.6	-107.4

表2 三阶互调功率与互调频率之间的关系

f_1 /MHz	935	935	935	935	935	935
f_2 /MHz	960	959	958	957	956	955
$2f_1 - f_2$ /MHz	910	911	912	913	914	915
三阶互调功率/dBm	-107.9	-107.5	-107.6	-108.3	-107.2	-108.6

3 移动通信天线 PIM 的减小措施

由以上分析表明,天线所产生 PIM 对移动通信系统的通信质量有较大的潜在影响。因此,我们有必要采取若干措施使通信系统中的无源互调产物降到最低。为了确保 PIM 干扰保持在可接受的电平范围内,最基本的方法是对系统各方面使用高标准,注意各方面的细节,诸如:计划、设计、开发、质量保证、制作、安装、操作和维护等。

对移动通信天线,可以采用以下措施减小 PIM 产物的影响。

(1) 在天线系统或其附近尽量不要使用非线性材料。如果确实因为某种原因而必须使用非线性材料时,这些材料必须加上线性导电材料镀层。

(2) 在传导路径上保持低的电流密度或在金属之间采用较大面积的接触。尽量减少粗糙表面和尖锐边缘暴露在辐射区。

(3) 使金属接触最小化。特别要注意松动接触和转动接点。如果不可避免要产生金属接触,那么要在接触点处放置绝缘体或设置交变电流通道。

(4) 为了减小物理特性随时间变化,应当降低工作温度变化范围。因为材料和金属结的膨胀和收缩会引起较大的 PIM 干扰。

(5) 如果可能的话,应该采用粘接接头,但要确保这些接头上没有非线性材料裂缝、污染和腐蚀。

(6) 在电流路径上,应尽量使用避免调谐旋扭或可动部件。保持所有接头清洁、扭紧。如果可能,不要使它们产生振动。

(7) 一般地说,电缆长度应该采用最短连线。最好采用半刚性同轴电缆。

(8) 尽量少用非线性部件,如集总虚拟负载、环形器、隔离器和一些半导体器件。

(9) 对大功率发射信号和低电平接收信号之间要有良好的隔离。如果将这两路信号设计成单独的

信号通道,独立的接收、发射天线,则 PIM 产物可以得到很好的控制。

(10) 如果高低功率电平不可避免地要使用一个信道,那么降低 PIM 的出发点应该是合理地选择发射和接收频率。实验已经发现,PIM 阶数越高,其功率越小。因此,在频率域上,收发频率应尽可能离得远些。然而,在多通道通信系统中,完全分离收发频率是不可能的。因此减少 PIM 干扰的最佳途径是把收发频率离得远些。

(11) 频率设计中应考虑高阶 PIM 信号,因为它们很可能成为某些通信系统的潜在干扰信号。

4 结束语

本文对移动通信天线的无源互调问题进行了探讨和分析。简单介绍了天线系统中的无源非线性及其产生原因,对移动通信天线无源互调的测量进行了一定的探讨,给出了天线 PIM 测量的典型装置。最后提出了移动通信天线中 PIM 产物的减小措施。通过对无源互调干扰的研究,对我国通信工程和通信产业中提高抗电磁干扰能力提供了技术指导,对现代通信系统的设计和研制有重要的参考价值、实用价值以及广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] Manfred Lang, Spinner GmbH. The intermodulation problem in mobile communications[M]. Microwave Journal, 1995. 20 - 28.
- [2] 苏宏煌,张世全,魏兵. 异向介质电磁问题的混合模型分析[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2011, 27(1): 41 - 44.
- [3] 帅春江,韩团军. 特种偏心传输线的 LBEM 角点弧形法分析[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2010, 26(3): 18 - 21.
- [4] V Golikov, S Hienonen, P Vainikainen. Passive intermodulation distortion measurements in mobile communication antennas [M]. Vehicular Technology Conference, 2001 Fall. IEEE VTS 54th, 2001, 4: 2623 - 2625.
- [5] 赵峰,傅明星,尹继武. 一种可视化通信系统的设计及其应用[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2010, 26(3): 9 - 12.
- [6] 王淑娟. 介质覆层对共形 PBG 结构柱面微带天线性能的影响[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2010, 26(4): 24 - 27.
- [7] S Hinomen. Studies on microwave antennas; passive intermodulation distortion in antenna structures and design of microstrip antenna elements[D]. Espoo: Helsinki University of Technology Radio Laboratory Publications, 2005.
- [8] 帅春江. 双线型加载传输线电容的线性边界元计算[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2010, 26(4): 22 - 23.
- [9] 吴少周,张世全. 复合左/右手传输线的电磁特性及其潜在应用[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2011, 27(1): 36 - 40.
- [10] Zhang shiquan, Wu Qindong, Liang Jintao. Analysis of passive intermodulation interference in GSM mobile communication antennas[M]. IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. Hangzhou: IEEE Press, 2007. 1251 - 1254.

[责任编辑:李莉]

Study of passive intermodulation interference on Mobile communications antennas

JIANG Jiang-hu, WU Shao-zhou, ZHANG Shi-quan
(Engineering College of Armed Police Force, Xi'an 710086, China)

Abstract: This paper discusses passive intermodulation interference in mobile communication antennas. It introduces the passive nonlinear and its causes in antenna system. At the same time, this paper studies the measurements of mobile communication, provides the typical device measured antenna PIM, and tests the practicality of the measuring devices along with examples. Finally, this paper puts forward the ways of reducing PIM products in mobile communications antenna.

Key words: mobile communications antenna; passive intermodulation interference; passive nonlinear