

EGSM 900MHz 移动通信基站天线模块中 互调失真的测量与控制

柳光福, 刘启明, 沈仁年

(上海埃德电磁技术有限公司, 上海 200237)

[摘要] 从理论和实践两方面阐述了 EGSM 900MHz 移动基站中天线模块产生的三阶和五阶互调失真对移动通讯质量的影响; 详细叙述了在没有专用互调失真测试仪器的情况下, 如何用通用的测量仪器、功率放大器和低互调失真的电缆构建高质量的测试系统, 以满足移动通讯基站中天线模块互调失真的测量要求; 最后, 给出了设计和制造天线模块过程中控制互调失真的某些经验。

[关键词] 天线模块; 合路器; 双工器; 三阶互调; 五阶互调

[中图分类号] 911.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-141X(2007)01-0026-07

Intermodulation Distortions Measuring and Controlling of Antenna Module within the EGSM 900MHz Mobile Communication Base Station

LIU Guang-fu, LIU Qi-ming, SHEN Ren-nian

(AERODEV Electromagnetic Technology Inc. Shanghai 200237, China)

Abstract: The third and fifth order intermodulation distortions of an antenna module within the EGSM 900MHz mobile communication base station and its impact on communication quality are analyzed from both the theory and practice. A measurement system of intermodulation distortions of an antenna module has been developed using general measurement instruments, power amplifiers and cable with lower intermodulation distortions level. It is proved that this measurement system operates very well and measuring results from our developing samples of antenna modules show that they can meet the requirements of international standards of EGSM base station. Some experiences with controlling third and fifth order intermodulation distortions within antenna modules are given in the end.

Key words: combiner; diplexer; antenna module; third order intermodulation ; fifth order intermodulation

1 概述

当前, 移动通信在世界范围内得到了空前的发展和运用, 在短短几年内, 我国的移动电话用户就跃居世界之首, 通信产业的发展和技术的进步取得了举世瞩目的成就。

现在我国营运的移动通信是属于第二代或二代半的。由于工作原理的区别, 它们分为 CDMA (即 C 网) 和 GSM (即 G 网) 两种体制。本文讨论的移动基站天线模块用于 G 网的移动基站。

G 网移动通信中的第二代基站设备和二代半的主要区别表现在两个方面。首先, 是工作频率范围

不一样。在第二代的基站设备中, G 网的发射频率为 935-960MHz, 接收频率为 880-905MHz, 发射和接收的带宽都是 25MHz, 在发射和接收之间有 30MHz 带宽的隔离。由于移动通信用户的急剧增加和频率资源的十分紧缺, 在大多数二代半的 G 网移动基站中, 发射频率扩展为 925-960MHz, 接收频率也相应地变为 880-915MHz, 发射和接收的频率范围都增至 35MHz 的带宽, 这样发射和接收之间的隔离带宽就只有 10MHz, 既充分利用了频率资源, 又极大地满足了移动用户的需求。为了区别二者的不同, 把这种 35MHz 带宽的移动基站称为 EGSM 基站。其次, 在第二代 G 网移动基站中, 所用的合路器、双工器、低噪声放大器 (LNA) 和分路器, 都是以单独部件的方式分布在基站的机柜内, 它们体积大, 互接电缆长。出于控制成本的考虑和技术的进步, 在二代半的 G 网 EGSM 移动基站中, 显著地减小了上述部件的体积、重量和连接电缆的长度, 把上述几个部件十分紧凑地组合在一起, 称之为天线模块。

图 1 为一种 EGSM 900MHz 移动基站中天线模块的框图。该模块工作时是根据移动通信系统指令, 基站在 $F1(\omega_1)$ 和 $F2(\omega_2)$ 的频点发射与移动用户终端 (如手机) 联系的功率信号。实际上, 这两路信号就是连接的两个功率放大器的输出。在 ω_1 和 ω_2 经合路器后成为能能在一个端口上传输的功率信号, 送到双工器的发射滤波器输入端口。在双工器发射滤波器的输出端口与天线连接之间, 设置有定向耦合器。通过它检测在天线上正向传输的功率信号的幅值和从天线反射回来的信号幅值, 并把这些信息送到移动通信系统的有关电路, 诊断出双工器与天线的匹配状态。若处于严重失配, 则终止 ω_1 和 ω_2 功率放大器的工作, 并切断与天线模块的连接。

在此同时, 移动通信基站中的天线模块要接收由移动终端用户 (如手机) 传来的信号, 因其强度远远低于 ω_1 和 ω_2 的信号电平, 首先, 经由双工器中的接收滤波器抑制其他干扰噪音, 选出用户 (如手机) 传来的信号, 紧接着在双工器接收滤波器输出端的低噪声放大器 (LNA) 进行放大。把基站

天线模块接收到的极其微弱的用户信号放大到移动通信系统要求的电平, 然后经由与 LNA 输出端连接的功分器, 一般分成四路, 传送到有关的电路进行相关处理。

在上述的天线模块中, 应重视以下两点。

其一, 在基站天线模块中传输射频大功率的条件下, 要考虑其中的合路器、双工器和与之相连的电缆和射频连接器的非线性因数的影响, 特别是它们的非线性因数产生的互调失真对通信质量的影响。

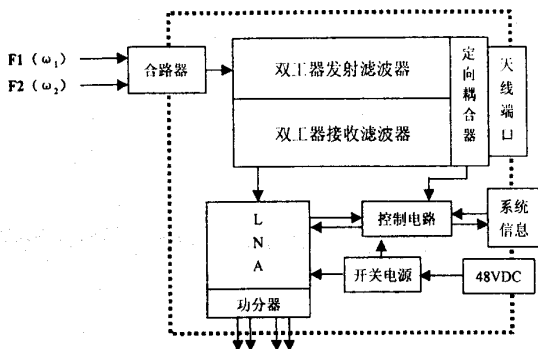


图 1 EGSM 900MHz 基站天线模块原理框图

其二, 在有两路 (ω_1 和 ω_2) 大功率射频信号 (如在 EGSM 925-960MHz 范围内的发射信号) 通过非线性合路器、双工器、相关电缆和连接器时, 会产生互调失真 (信号) 和新的频率信号。其中幅度最大的三阶互调信号 ($2\omega_1 - \omega_2$)、($2\omega_2 - \omega_1$) 和五阶互调信号 ($3\omega_2 - 2\omega_1$)、($3\omega_1 - 2\omega_2$), 会落入 880-915MHz 的接收频率范围内。例如, 图 1 中的 $F1=930\text{MHz}$ 和 $F2=950\text{MHz}$ 两个频点的大功率信号同时进入合路器, 并经双工器和天线发射出去, 在传输过程中会生成 ($2\omega_1 - \omega_2$) 的三阶互调信号, 其频率为 910MHz; 同时生成 ($3\omega_1 - 2\omega_2$) 的五阶互调信号, 其频率为 890MHz。这两个新频率信号都要进入双工器中 925-960MHz 的接收滤波器, 并且在 LNA 得到放大, 与从用户传来的信号混在一起。实际上, 这些三阶互调和五阶互调信号就是噪音, 当这些噪音的幅度大到一定的程度, 就会使移动基站与用户 (例如手机用户) 联系的信号接收和识别受到影响, 引起通信质量下降。如果三阶互调和五阶互调信号的幅度过大, 以致淹没掉接收到

的、来自用户的微弱信号,就不能进行通信。为了深入认识互调失真的影响,有必要先在理论上来分析三阶互调和五阶互调失真的成因;然后介绍我们研制的天线测试系统对互调失真的控制,以及为满足相关标准要求而采取的措施和方法。

2 存在的三阶和五阶互调失真

当把天线模块中的合路器、双工器中的滤波器、连接电缆和连接器都视为四端网络,和假定它们是线性网络时,那么它们的输入信号(用 V_{in} 表示)和输出信号(用 V_{out} 表示)可以表示为下面的线性关系

$$V_{out}=AV_{in} \quad (1)$$

式中, A 表示输入和输出变化(如幅度变化)的系数。

当把它们视为非线性四端网络时,输入输出的关系就变得复杂,可由下式来表示

$$V_{out}=A_1V_{in}+A_2V_{in}^2+A_3V_{in}^3+\dots \quad (2)$$

式中, A_1 、 A_2 和 A_3 是描述幅度变化的系数。

当该四端网络的输入只有一个单频信号,如在 $V_{in}=\cos\omega t$ 的条件下,则在四端网络的输出中,会有 $\cos 2\omega t$, $\cos 3\omega t$... 的新频率信号的产生。因为 V_{in}^2 项中有 $\cos^2\omega t$ 项,即

$$\cos^2\omega t=1/2(1-\cos 2\omega t) \quad (3)$$

式中的 $\cos 2\omega t$ 项就是 $\cos\omega t$ 的 2 倍频信号。

同样, V_{in}^3 项中有

$$\cos^3\omega t=1/4(3\cos\omega t+\cos 3\omega t) \quad (4)$$

式中的 $\cos 3\omega t$ 就是 $\cos\omega t$ 的三倍频信号。从式(2)中得知,还有四倍频、五倍频的信号。

大功率单频信号在非线性四端网络中产生的新频率会对图 1 中的天线模块产生影响,在本文中不作深入讨论。

但是,当同时有两路不同频率的大功率信号加载到上述非线性四端网络上时,即

$$V_{in}=a_1\cos\omega_1t+a_2\cos\omega_2t \quad (5)$$

情况会变得十分复杂。

把式(5)代入式(2),这时的 $A_3V_{in}^3$ 项可以表示为

$$\begin{aligned} A_3V_{in}^3 &= A_3(a_1\cos\omega_1t+a_2\cos\omega_2t)^3 \\ &= 1/4 A_3 [a_1^3(3\cos\omega_1t+\cos 3\omega_1t)+a_2^3(3\cos\omega_2t \\ &\quad +\cos 3\omega_2t)]+3/2 A_3 [a_1a_2^2\cos\omega_1t+a_1^2a_2\cos\omega_2t] \\ &\quad +3/4 A_3 a_1a_2^2[\cos(\omega_1+2\omega_2)t+\cos(2\omega_2-\omega_1)t] \\ &\quad +3/4 A_3 a_1^2a_2[\cos(2\omega_1+\omega_2)t+\cos(2\omega_1-\omega_2)t] \end{aligned} \quad (6)$$

其中,我们最为关心的

$$\begin{aligned} V_{\text{三阶互调}} &= 3/4 A_3 a_1^2a_2\cos(2\omega_1-\omega_2)t \\ &\quad +3/4 A_3 a_1a_2^2\cos(2\omega_2-\omega_1)t \end{aligned} \quad (7)$$

称作三阶互调。

分析式(7),可知

(1) 如果 $a_1=a_2$, 则频率 $(2\omega_1-\omega_2)$ 和 $(2\omega_2-\omega_1)$ 的幅值相等。

(2) 如果 $a_1>a_2$, 则 $(2\omega_1-\omega_2)$ 的幅值大于 $(2\omega_2-\omega_1)$, 反之亦然;

(3) 如果 ω_1 的频率移动, ω_2 的频率保持不变,则 $(2\omega_1-\omega_2)$ 的频移大于 $(2\omega_2-\omega_1)$ 的频移;

(4) 如果 $\omega_1<\omega_2$, 则 $(2\omega_1-\omega_2)$ 的互调失真邻近 ω_1 , $(2\omega_2-\omega_1)$ 的互调分量邻近 ω_2 。

用相同的方法,也可以分析五阶等互调的某些特点。

相对而言,三阶和五阶互调失真的幅度比其他阶,如七阶、九阶的互调失真的大很多,故在 EGSM 900MHz 的相关标准中,仅列出对三阶和五阶互调失真的要求。

3 EGSM 900MHz 基站对三阶和五阶互调失真的要求

从以上分析可知,在移动通信基站天线模块中的接收通道内,存在有三阶和五阶互调失真(即噪音信号)。要实现移动通信基站与用户之间高质量的通信,必须要把这种失真控制到允许的电平。为此,在相应的 EGSM 900MHz 天线模块的技术文件中有详细的规定。

(1) 在图 1 所示的天线模块中,规定传送到合路器输入端口的 F1 和 F2 这两个频点信号的功率为 47.5dBm (56W) 时,天线模块中的天线端口处测得 880-915MHz 接收频段内的三阶互调失真的电平要低于 -105dBm。

要测量上述互调失真存在两方面的困难。其

一, 如果严格按照上述要求, 在天线模块中的天线端口来实施这个测量, 则要在图 1 所示的天线端口上接入一个能承受 56W 的功率、三阶和五阶互调失真电平很低 (例如三阶互调失真低于 -160dBc) 的定向耦合器和负载。但是, 在 internet 网上目前还没有查到能满足这样要求的定向耦合器。其二, 假定有这样的一个 -20dB 的定向耦合器, 那么, 耦合出来加到频谱分析仪上的 F1 和 F2 的电平约为 27.5 dBm (0.563W), 两路 (F1 和 F2) 这样大的信号加到频谱分析仪的低噪声放大器 (LNA) 上, 同样要在频谱分析仪的低噪声放大器上产生三阶和五阶互调失真。由于这是在有源网络上生成的互调失真, 其互调失真电平比要测量的、在天线模块上产生的三阶和五阶互调失真电平要高很多, 从而使这样的测量失去意义。

当然, 也可以假定选 -50dB 的定向耦合器。这时, 上述在频谱分析仪的低噪声放大器上产生的三阶和五阶互调失真电平的问题可能缓解, 但是, 这时候在天线模块上产生的三阶和五阶互调失真电平要被衰减 50dB , 当它们到达频谱分析仪时已经十分微弱, 以致无法识别和测量。

为了避免上述问题的发生, 在 EGSM 900MHz 天线模块的技术文件又规定了另外的测量方法和互调失真电平, 即送到合路器输入端口的 F1 和 F2 这两个频点信号的功率为 47.5dBm (56W) 时, 把频谱分析仪连接到图 1 所示的 LNA 功分器的输出端进行测量, 这时在 $880\text{--}915\text{MHz}$ 接收频段内的三阶互调失真电平要低于 -90dBm , 测得五阶互调失真电平要低于 -115dBm 。

因为 LNA 的输入端是紧接在双工器接收滤波器的输出端, 这个接收滤波器的输入端就是双工器的发射滤波器的输出端, 这里可视为图 1 中的天线端口。由于接收滤波器能把在发射滤波器中传输的两路 (F1 和 F2) 大功率信号衰减 90dB 以上, 故大大减少了两路 (F1 和 F2) 功率信号对频谱分析仪输入端低噪声放大器的影响。

上述分别在天线端口和 LNA 输出端口的测量互调失真的方法, 都是国际标准 “IEC 62037 (1999-09) RF Connectors, Connectors-Cable

Assembly and Cable Intermodulation Level Measurement” 推荐的测量方法。有的同行把在天线端口的测量方法称为互调失真的传输测量法, 把在 LNA 输出端口测量方法称为互调失真的反射测量法。对天线模块而言, 在 LNA 输出端口测量互调失真电平更符合实际情况。天线模块中的 LNA 的增益为 15dB 时, 把在图 1 所示 LNA 输出端口的功分器上测得的三阶互调失真电平 -90dBm 减去 15dB , 即为 -105dBm , 与在天线端口的测量互调失真电平相吻合。

(2) 关于控制三阶互调失真的另一个技术参数是: 在图 1 中所示天线端口处, (通过合路器) 输入两个 -43dBm 的 (F1 和 F2) 的频点信号, 当 LNA 的增益为 15dB 时, 在图 1 中所示 LNA 功分器输出端口上的测得的三阶互调失真的电平要低于 -80dBc 。由于输入的两个频点信号 (F1 和 F2) 电平仅为 -43dBm , 一般信号源的输出就能满足这个电平的要求, 比较容易实施和控制。因此, 本文不深入探讨。

4 三阶和五阶互调的测量

实际上, 有专门用于测量电缆、连接器、滤波器和无源器件的三阶和五阶互调失真的测量仪器。但由于受财力和时间等诸多条件的限制, 我们只能在现有的条件下自己研制能满足上述要求的三阶和五阶互调失真测试系统。

按照 “IEC 62037 (1999-09) RF Connectors, Connectors-Cable Assembly and Cable Intermodulation Level Measurement” 的要求, 我们研制的测量系统原理框图如图 2 所示。图 2 中的粗虚线框图中的内容与图 1 是相同的, 为便于说明, 把一些与三阶和五阶互调失真测量不相干的内容作了简化, 使之一目了然。

图 2 中所用到的信号源和频谱分析仪, 都是国际著名大公司的标准产品, 它们的技术参数均能满足上述三阶和五阶互调失真测试要求。

图 2 中 F1 和 F2 频点信号功率放大器是按 EGSM 900MHz 标准制造, 用作移动基站的功率放大器。要它们能输出 56W 功率, 一方面, 在它们

的输入端要配置低噪音的驱动放大器，因为这种功率放大器要求的驱动功率大于 23dBm，标准信号源的输出功率是不能直接驱动到这个功率电平的，这就要增设前置放大器；另一方面，这种放大器在放大器输出 56W 功率的时候，它们已不工作在线性区域，而是工作在接近饱和的区域，这时候的非线性失真较大，高次谐波的幅度大。但理论分析和我们的实际测量证明，它们对三阶和五阶互调失真的测试几乎没有影响。

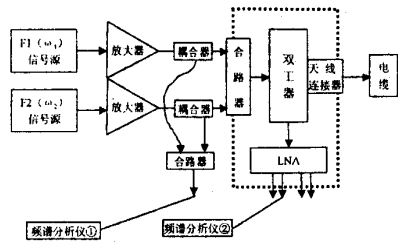


图 2 三阶和五阶互调信号的测试框图

不管是在天线模块的天线端口测量三阶互调失真电平，还是在 LNA 的输出端口来测量，困难在于，应该用什么样的负载接在图 1 所示的天线端口的连接器上，才能准确测量到我们要测得的互调失真，因为在这种条件下的负载，必须要具有以下的能力：

- (1) 能承受 60W 的连续功率，在此功率电平下性能稳定；
- (2) 在注入上述规定功率的条件下，其本身产生的三阶和五阶互调失真电平必须低于对天线模块互调失真电平的要求。否则，会得到这样的结果，即所测得的三阶和五阶互调失真不是来自被测天线模块，而是来自接在天线连接器上的负载的互调失真。

经多次的努力、探索和失败后，我们最后采用的是 SUHBER 公司的具有低三阶和五阶互调失真的 RG402 射频电缆作为天线模块的负载。它长约 66 米，在 900MHz 处的插入损耗约为 30dB，功率处理能力大于 60W。经专用互调测量仪器校验，在两路输入信号幅度为 43dBm 的时候，其三阶互调失真为 -168 dBc，这个电平低于天线模块中双工器的三阶和五阶互调失真的要求，能保证我们测得的三阶和五阶互调失真是由天线模块而不是接在

天线端口上的电缆产生的。选用 SUHBER 公司的、具有低三阶和五阶互调失真的射频电缆作为测量互调失真的负载，对建立图 2 所示的互调失真测试系统，起了决定性的作用。

连接信号源和放大器以及连接放大器和合路器之间的电缆和连接器，它们的三阶和五阶互调失真技术指标可以放宽，因为通过它们的功率信号是单个频点的。通过试验可知，虽然它们对通过的单个频点的大功率也存在非线性效应，会生成以单个频点频率的多次谐波失真，但它们都远离三阶和五阶互调失真的频率，对要测量的天线模块的三阶和五阶互调失真不会产生影响，我们的实际测量证实了这一点。

在图 2 中的每个功率放大器的输出与合路器的两个输入端口之间，分别插入两只 -50dB 的定向耦合器。它们的 -50dB 输出端口再分别连接到一个合路器的两个输入端口上。从连接在合路器输出端口的频谱仪①上读出数据，加上电缆、合路器和定向耦合器的损耗，就是功率放大器的输出电平。在此述及的连接器、合路器和有关连接电缆的三阶和五阶互调失真的要求可以放宽，它们不影响互调失真的测量。

将图 2 中的频谱仪②连接到图 1 中 LNA 的功分器的输出端口上，直接读出的就是天线模块的三阶或五阶互调失真电平。

为了验证图 2 所示测试系统的可信度，曾将我们研制的 EGSM 900MHZ 移动基站天线模块样品和某国际著名公司验收合格的上机产品在图 2 所示的系统中进行测量，将测得的结果进行比对，其部分典型数据列于表 1。图 3~图 6 示出了埃德公司研制的样品和某国际著名公司产品三阶和五阶互调信号采集对比。

表 1 上海埃德公司的样品和某国际著名公司验收合格上机产品互调失真电平比对

试验条件	图 2 中的 F1=930MHz, F2=950MHz, 在频谱分析仪①上显示 F1 和 F2 的电平为 47.5dBm.			
	三阶互调 (910MHz)		五阶互调 (890MHz)	
测得数据	上海埃德样品	某国际著名公司验收合格的上机产品	上海埃德样品	某国际著名公司验收合格的上机产品
	-114.0dBm	-117.5 dBm	-127.5dBm	-125.5dBm
结论	见图 3	见图 4	见图 5	见图 6
	满足 EGSM 900 MHz 移动基站天线模块对三阶、五阶互调的要求			

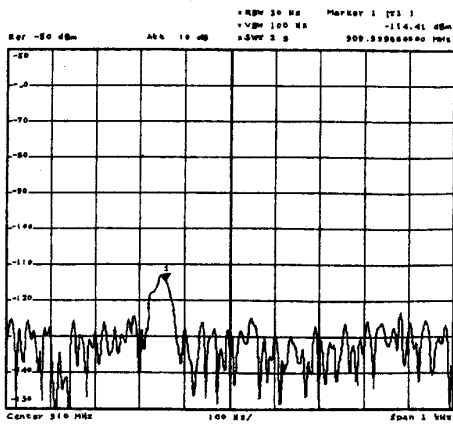


图3 采集到上海埃德样品的三阶互调信号

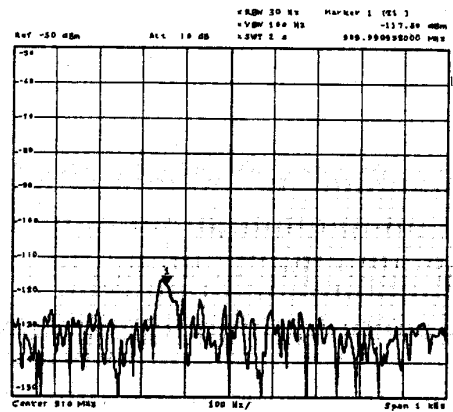


图4 采集到某国际著名公司产品的三阶互调信号

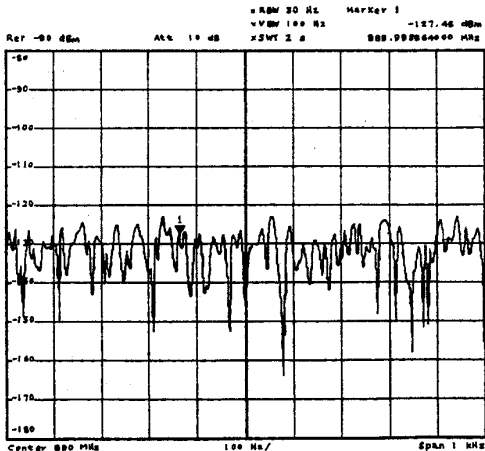


图5 采集到上海埃德样品的五阶互调信号

验证数据证明,图2配置的测试系统测得的数据是可信的。

图2所示测量系统被验证能满足天线模块三

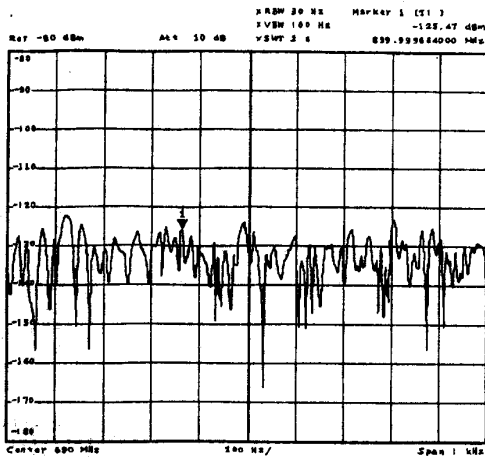


图6 采集到某国际著名公司产品的五阶互调信号

阶和五阶互调失真的测试后,对我们研制的多个天线模块样品进行了大量的、反复的互调失真测量和数据分析,进一步摸索和总结控制互调失真的经验,不断改进和完善有关设计、加工工艺和电镀工艺,终于研制出三阶和五阶互调失真电平能满足EGSM 900MHz移动基站相关国际标准要求的天线模块。

通过这次产品研制,我们获得了如下一些经验和体会:

- (1) 在存在有两个大功率射频信号的部位,不要用钢、铁镍合金、镍和类似的材料;
- (2) 不同的材料连接到一起后,可能发生非线性的整流效应;
- (3) 相同材料的连接,其氧化层之间也存在非线性效应,如铜的氧化物,虽然很薄,但它就是P型半导体,会引起互调失真增大;
- (4) 如果双工器是用铝制造,镀银之前的打底电镀层不能用镍。虽然镍的附着力好,但是,镍属于上述(1)所列出的禁用材料;
- (5) 电镀层的厚度要满足设计要求;如镀的铜和镀的银的厚度都要在7-10 μ 范围内;
- (6) 加工工艺要到位,不能有毛刺;两个面的相交之处要圆滑;
- (7) 凡是有两个(或多个)不同频率的大功率信号要通过的电缆和连接器,都要能满足系统对三阶和五阶互调失真的要求等。

5 结束语

综上所述, 两个(或多个)不同频率的大功率信号通过无源微波器件, 如合路器、滤波器、连接器和电缆的时候, 会生成新频率的三阶和五阶互调失真信号。例如在 EGSM 900MHz 的天线模块中, 发射机工作在 925-960MHz 的两个频点所产生的三阶和五阶互调失真信号就会混杂在接收机工作的 925-960MHz 频率范围内, 严重影响到移动通信基站与用户通信的质量。因此, 把有关的三阶和五阶互调失真控制到系统规定的电平之内是必要的。在测量三阶和五阶互调失真电平的实践中我们发

现, 如果天线模块中的合路器、滤波器、连接器和连接电缆的三阶和五阶互调失真电平不能满足系统的要求, 那么接收频率范围内产生的互调失真电平就会远大于基站与用户之间进行通信的信号电平, 就不能保证通信质量, 甚至不能通信。所以, 把在移动通信基站的天线模块内的互调失真控制在标准允许的电平至关重要, 当然, 正确测量天线模块的互调失真显然也十分重要。

上述关于控制天线模块互调失真的方法, 我们经历了许多失败和挫折, 最终才找到用低互调失真电缆作为图 2 中测量系统负载的。我们愿将我们的研制经验与同行共享, 起抛砖引玉的作用。

参考文献

- [1] 柳光福, 刘启明. 双工器的频率温度系数[J]. 航空电子技术, 2006, 37(1).
- [2] Reimer Nagel, Karl Audenaerde. Passive Intermodulation in Duplexed Communication Systems[C]. Theory and Measurement, Automated RF and Microwave Measurement Society (ARMMS), 22nd Conference Digest, Windermere, Cumbria, 2004-11-16~11-17.
- [3] IEC 62037 (First Edition). RF Connectors, Connector-Cable Assemblies, and Cables - Intermodulation Level measurement[S]. 1999-09.
- [4] 凤卫锋. 通信系统中无源互调失真的测量[N]. 人民邮电报, 2006-06-05.
- [5] 朱辉. 浅谈 WCDMA 发射频段无源互调失真的测量[J]. 通信世界, 2005,(7).
- [6] David Weinstein. Passive Intermodulation Distortion in Connectors, Cable and Cable Assemblies[J]. Microwaves & RF, 2001,(3).

[收稿日期] 2006-12-26

[修回日期] 2007-01-22

[作者简介] 柳光福(1944—), 男, 上海埃德电磁技术有限公司总工程师、研究员。1967年毕业于成都电讯工程学院。

主要从事电磁干扰控制器件、移动通讯天线模块的研究与制造。

刘启明(1941—), 男, 上海埃德电磁技术有限公司高级工程师。1967年毕业于大连工学院。主要从事电磁干扰控制器件、移动通讯天线模块的研究与制造。

沈仁年(1950—), 男, 上海埃德电磁技术有限公司高级工程师。1982年毕业于上海科技大学。主要从事电磁干扰控制器件、移动通讯天线模块的研究与制造。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>