

# 线性度对于下一代RF系统影响巨大

## Linearity Looms Large for Next Generation RF Systems

作者：Srikanth Sridharan Peregrine 半导体公司

**作**为下一代超越 3G 的移动无线标准，长期演进技术 (Long Term Evolution, LTE) 的出现重申了宽带、高线性 RF 系统和组件的重要性。在美国，700 MHz 频谱内 LTE 的部署只是增加了一个早已相当拥挤的频谱，为系统工程师在确保满足共存 (co-existence) 和协同位置 (co-location) 需求，同时不会干扰相邻信道频带，以及让相关的信号频带拥有足够的动态范围这几方面带来了更高的门槛。

TD-LTE 预计于 2012 年在中国推出，标志着无线网络从较低数据率的 3G 技术逐渐转变到 4G 技术。Infonetics Research 预测 LTE 基础设施市场在 2014 年将超过 110 亿美元 (见图 1)<sup>[1]</sup>。对于更快、更高效设备的需求正推动 LTE 的急速增长，因为消费者需要使用其笔记本电脑、智能电话、平板电脑和其它便携式设备访问更多的数据。

LTE 通过使用两种不同接入方案，将 3G 性能提升至更高的数据率。单载波频分多址 (Single-carrier frequency-division multiple access, SC-FDMA) 用作上行链路 (基站接收，移动电台传输) 和正交频分多址 (orthogonal frequency-division multiple access, OFDMA) 用作下行链路 (基站传输，移动电台接收)。另外，通过多输入多输出 (Multiple Input, Multiple Output, MIMO) 技术增加了数据吞吐量。

从线性度的观点来说，LTE 的实施在系统设计方面带来了几项挑战。使用从 QPSK 到 64 QAM 变化的自适应调制方案，必须减

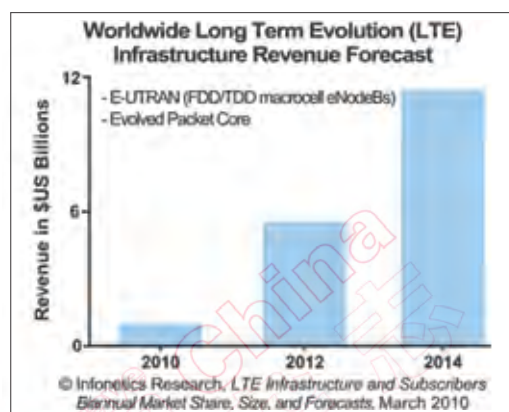


图 1. 全球 LTE 基础设施收入预测。

少 RF 调制信号的幅值和相位失真。发射器需要满足特定的杂散发射要求并使相邻信道的泄漏减至最低。另一方面，接收器必须承担最坏情况下的灵敏度下降，其来自于带外干扰与自身传输信号的混合，或来自其它天线的传输信号。加之于紧密的 (15 kHz 宽) 正交子载波的使用和用于接收频带间隔的有限传输频带，LTE 增加了整体系统线性度要求的复杂性。

对于大多数组件，比如在移动无线和无线基础设施系统中使用的射频开关和数字步进衰减器，带外失真产物可以通过谐波失真 (Harmonic Distortion, HD) 和互调失真 (Intermodulation Distortion, IMD) 两方面进行量化。对于调制 RF 载波，为更好地分析 IMD 的影响，二级和三级失真项 IMD2 和 IMD3 被规定为二级和三级拦截点 IP2 和 IP3。另外，在多个发射器和接收器共存于相同的地理区

域的情况下，交叉调制失真 (Cross Modulation Distortion, CMD) 是关键的带内考虑因素。

在 LTE 中的一个状况中，‘C’ 区 (777~787 MHz) 上行链路信号的二次谐波将落入 1575.2 MHz GPS ‘L1’ 频段，使 HD2 成为一个重要的关注点。W-CDMA 的另一个状况中，运行频段 I (1950 MHz) 的上行链路信号将与 GSM1800 带外干扰在 1760 MHz 处互调，引起自身接收机灵敏度下降<sup>[2]</sup>。在此方案中 IIP3 将成为关键的规范。

设计高效率、高线性系统永远是一种挑战。即便在当前的 3G 网络，在后端基础设施中使用的系统通常使用某种形式的线性化，无论是模拟预失真或数字预失真 (digital pre-distortion, DPD)。例如，远程无线电头端 (remote-radio head) 是一个具有成本效益的方法，它可延伸单元覆盖范围而无需增添更多的基站，这方法常常包含一个内嵌在 DPD 回路中的多载波功率放大器。而数字预失真技术的主要目的是通过减少奇次互调失真并使功率放大器效率最大化，满足严格的相邻信道功率比 (adjacent channel power ratio, ACPR) 要求。

在宽带应用中，如 W-CDMA 等多载波系统也有 UTRAN 共享的概念，两家网络运营商主动共享相同的网络基础设施以减少大型设备支出和运营费用<sup>[3]</sup>。对于系统工程师来说，这往往代表更复杂的接收前端，该前端必须满足两种同地协作接收器在相同频带内同时运行的灵敏度要求。

除了必须选择使设计人员能够满足严格的系统要求的组件外，通过标准规范也是非常具有挑战性的。在大多数情况下，简单满足技术要求可能还不够，还必须具有低成本及尽可能低的功耗。

### UltraCMOS™ 技术解决市场需求

从 CMOS 到砷化镓 (GaAs) 到绝缘硅片 (Silicon-On-Insulator, SOI) 的各种竞争技术，为系统工程师提供了广泛的放大器、射频开关、混频器和衰减器选择。UltraCMOS™ 技术是一种专利蓝宝石硅 (Silicon-On-Sapphire, SOS) 技术，已证实其能够提供宽带的、高集成度和高线性度 RF 组件。UltraCMOS 技术的一个主要优势是通过使用绝缘的蓝宝石基板，没有通常困扰其它技术的非线性的、电压依从性寄生大电容。结合 HaRP™ 技术的增强功能，UltraCMOS 组件能够稳定地发挥其满足市场对于宽带、高线性度，以及低功耗、小型尺寸和低成本需求的能力。

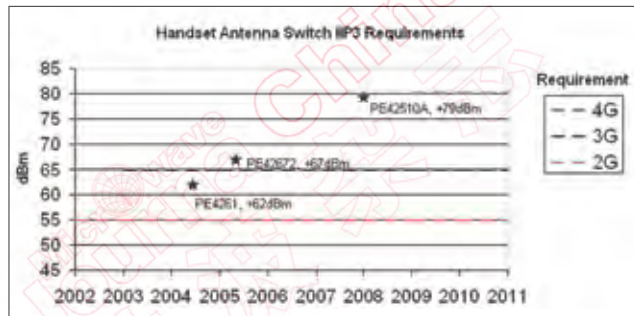


图 2. IIP3 市场对于手持式天线开关的要求演进。

随着通信网络从主要的语音通讯 (2G 网络) 向数据密集通信发展，需要不同的多路技术和调制方案 (3G 及以上)，市场对于高线性度 RF 前端 (RF front-end, RFFE) 开关的需求已经逐步演进。例如，W-CDMA 要求高线性度 RFFE，如同某些或所有 W-CDMA 频带必须通过一个特定设计的多模式天线开关进行路由。该天线开关通常直接连接至天线端口而无需任何滤波，而且必须具有足够的线性度来处理任何不需要的干扰而不会降低接收器灵敏度。

图 2 显示了过去十年移动手机天线开关的输入 IP3 要求的演进。在每一次技术演进中，由于对线性度的要求增加，就会有新的 Ultra-CMOS 开关解决方案进入市场。首次发布的基于增强 HaRP 的 UltraCMOS 工艺器件之一是 SP7T 开关，用于四频带 GSM 和 GSM/W-CDMA 手机应用，具有 +67 dBm IIP3 特性。

由于下一代移动电话集成了 LTE 和四频带 W-CDMA (850, 900, 1900, 2100) 与四频带 GSM (850, 900, 1800, 1900)，故对天线开关的线性要求只会更严苛。为支持向 LTE 和 LTE-Advanced 转变，要求 IIP3 大于 +80 dBm 的多掷开关将很可能成为现实。

### 测量挑战

除了设计和制造此类开关之外，挑战已扩展至在实验室里验证高线性度。+80 dBm IIP3 代表极低的 IMD3 水平，采用 IIP3 表示为 RF 输入功率加上所需要的基本输出和不需要的 IMD3 输出之间差异的一半。由测试系统本身产生的失真必须至少低于 IMD3 输出 18 dB，以便防止系统限制测量<sup>[4]</sup>。这代表着系统 IIP3 要求至少为 +89 dBm，以准确测量真实的开关线性度。

大多数工程师都熟悉传统用于测量拦截点的双基音测试，通常以输入或输出 IP3 表示<sup>[5]</sup>。在此设置中，通常相等幅值间隔的两个 CW 基音 ( $f_1, f_2$ ) 在特定的频率偏移

上相结合，并被送入待测非线性设备中，在低于和高于基音的频率偏移上产生 IMD3 效果。然后输出被直接送入频谱分析仪使用  $f_1$ ,  $f_2$  和  $2f_1 - f_2$  及  $2f_2 - f_1$  频数分析进行拦截点测量。实际上，许多频谱分析仪甚至具有内置的三阶交调拦截点 (third-order intercept point, TOI) 测量。

现实状况是此传统技术会被系统动态范围所限制。为测量高线性组件的失真度，两个测试基音需要大振幅来提升 IMD 基音脱离测量噪声基底。为处理较大的期望输出信号，频谱分析仪需要对它的 RF 输入衰减进行优化以运行在线性工作范围中。然而这样做将提升了它的噪声基底，增大了可被测量的最小信号电平。即使通过优化分辨率和视频带宽滤波设置，在狭窄的跨度内单独测量信号，该动态范围限制还是会带给用户平衡的系统失真和系统噪声基底。

例如，采用 +18 dBm/基音的双基音，一个 +80 dBm 的 IIP3 将把 IMD3 基音置于 -106 dBm，动态范围置于 124 dB。今天的大多数高性能频谱分析仪都无法满足这个要求，因为对于三阶交调拦截点测量，系统限制在 110 dB 的水平上。如果要实施测量不确定性小于 1 dB 的要求，那么动态范围将会接近 100 dB 的水平。

### 克服系统限制进

一个应对此限制的途径是在和频上测量失真而不是在差频上。因为和频上的失真效果在算术上等同于差频上的失真效果，所以测试系统可以集中于分别捕捉需要的和不需要的输出，且不再需要同时处理这两套信号。

总 IMD3 效果发生在  $2f_1 + f_2$  和  $2f_2 + f_1$  频率处且可以在被测设备 (DUT) 输出上通过使用双工器或三工器进行捕获，每个信道捕捉一个特定频带。如图 3 所示，双信道功率计

用来准确测量基本输入和输出功率水平，同时频谱分析仪测量总 IMD3 基音。通过滤波器和衰减器，所有基音 (基本和失真) 终止于  $50 \Omega$ ，消除了任何对于相位角的敏感性。另外，所有在总 IMD3 频率处的设置损耗和 DUT 损耗都包含在最后的 IIP3 计算内。

新的 SPDT 开关在此设置中采用 +18 dBm/基音的基音进行测量。它的特点是压缩点为 50 W P1dB 且在 1 GHz 以下插入损耗小于 0.4 dB。如图 4 所示，在 LTE 频带内，它测得的 IIP3 接近于 +80 dBm。相互竞争的 SOI 和 GaAs 技术已经努力展示了在这些功率级上的此宽带线性度水平。采用 GaAs 技术，较低功率级可能接受此线性度，但在高功率下，失真会因为栅电压被调制而增加<sup>[5]</sup>。找到一种可以满足集成 LTE RFFE 的高线性度、插入损耗和绝缘要求的多掷天线开关，这是极具挑战的。

随着下一代 RF 系统继续开发，有一点是毫无疑问的——高线性度将始终被重视。采用多频带共存和现有网络设施共享来减轻资本支出 (CapEx) 和运营成本 (OpEx)，将会增加 RF 系统设计人员的挑战。再加上市场对高线性度组件的需求，如何使用有限的传统技术准确测量其性能，将是一个两难。

随着下一代 RF 系统继续开发，有一点是毫无疑问的——高线性度将始终被重视。采用多频带共存和现有网络设施共享来减轻资本支出 (CapEx) 和运营成本 (OpEx)，将会增加 RF 系统设计人员的挑战。再加上市场对高线性度组件的需求，如何使用有限的传统技术准确测量其性能，将是一个两难。

随着下一代 RF 系统继续开发，有一点是毫无疑问的——高线性度将始终被重视。采用多频带共存和现有网络设施共享来减轻资本支出 (CapEx) 和运营成本 (OpEx)，将会增加 RF 系统设计人员的挑战。再加上市场对高线性度组件的需求，如何使用有限的传统技术准确测量其性能，将是一个两难。

### 参考文献

- Infonetics Research 公司，2010 年 4 月，LET 基础设施和用户 (LTE Infrastructure and Subscribers), <http://www.infonetics.com/pr/2010/2H09-LTE-Infrastructure-Market-Highlights.asp>.
- 〈用于 GSM/W-CDMA 移动电话前端的的天线开关线性度要求〉 (“Antenna Switch Linearity Requirements for GSM/W-CDMA

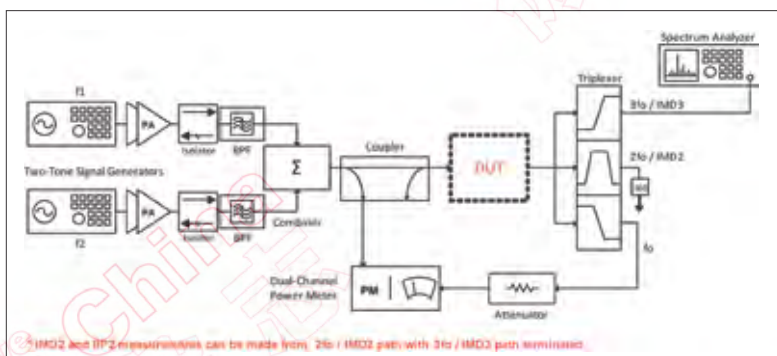


图 3. 双基音 IIP3 测量设置用于总 IMD3 测量。

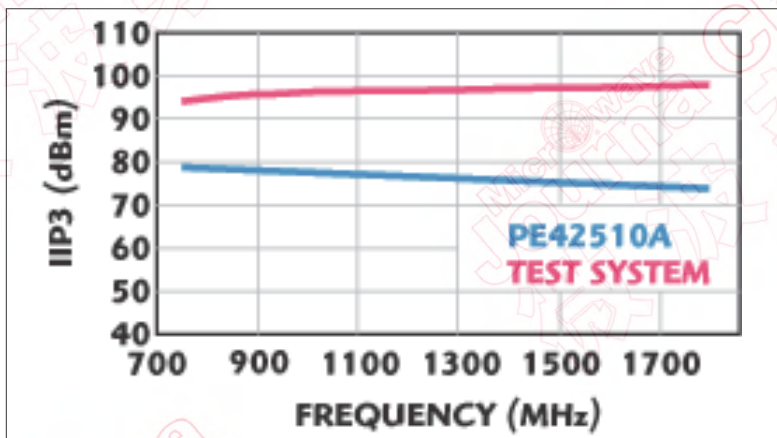


图 4. LTE 频带内 UltraCMOS SPDT 性能。

- ADC12D1600RF, 拥有高达 3.2 GSPS 的交叉单通道采样速率 (双通道为 1.6 GSPS) 以及 2.7 GHz 下 -70 dBc 的 IMD3。
- ADC12D1000RF, 拥有高达 2.0 GSPS 的交叉单通道采样速率 (双通

- 道为 1.0 GSPS) 以及 2.7 GHz 下 -69 dBc 的 IMD3。
- ADC12D800RF, 拥有高达 1.6 GSPS 的交叉单通道采样速率 (双通道为 800 MSPS) 以及 2.7 GHz 下 -71 dBc 的 IMD3。

- ADC12D500RF, 拥有高达 1.0 GSPS 的交叉单通道采样速率 (双通道为 500 MSPS) 以及 2.7 GHz 下 -69 dBc 的 IMD3。

**2012第七届中国国际  
RFID与物联网应用展览会**

期待您的到来

时间：2012年6月9~11日  
地点：广州琶洲保利世贸博览馆

**合作  
产生无穷的力量**

展会官网 <http://www.autoidchina.org>

主办单位 香港生产力促进局 中国物联网产业推广中心  
中商流通生产力促进中心 亚太RFID技术协会  
广东省连锁经营协会 广东省防伪行业协会

承办单位 广州日晖会展服务有限公司 香港绿色数码科技有限公司

020-82567179 82562031 23377494 陈小姐

上接第40页

Mobile Phone Front-ends” ), 作者 : T. Ranta, J. Ella 和 H. Pohjonen, 第八届欧洲无线技术会议报告, 巴黎, 法国, 2005年10月, 第23~26页

3. 〈LTE 中的网络共享, 机会和解决方案〉(“Network Sharing in LTE, Opportunity & Solutions” ), 阿尔卡特-朗讯 (Alcatel-Lucent) 技术白皮书, 第1~2页, [http://lte.alcatel-lucent.com/locale/en\\_us/downloads/CMO1649091201\\_LTE\\_Network\\_Sharing\\_EN\\_TechWhitePaper.pdf](http://lte.alcatel-lucent.com/locale/en_us/downloads/CMO1649091201_LTE_Network_Sharing_EN_TechWhitePaper.pdf)。

4. 〈优化失真测量的动态范围〉(“Optimizing Dynamic Range for Distortion Measurements,”), 安捷伦科技 (Agilent Technologies) 产品说明, 5980-3079EN, 第4~22页, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5980-3079EN.pdf>。

5. 〈IP2 和 IP3 的准确快速测量〉(“Accurate and Rapid Measurement of IP2 and IP3,”), 作者 : K. Kundert, 设计人员指南咨询应用说明, 第2~4页, <http://www.designers-guide.org/analysis/intercept-point.pdf>。

6. 〈UltraCMOS 技术超越 GaAs 技术的 RF 开关性能优势〉(“RF Switch Performance Advantages of UltraCMOS Technology Over GaAs Technology” ), Peregrine 半导体应用说明 AN18, 第1~2页, [http://www.psemi.com/pdf/app\\_notes/an18.pdf](http://www.psemi.com/pdf/app_notes/an18.pdf)。