

# 无线通讯的线性化技术

## Linearity Technology in Wireless Communication

**摘要：**本文介绍了线性化技术在通信基站及手机等领域中的应用，重点介绍在 CDMA, W-CDMA 等通信基站中的应用。在各类应用中应该按照各自系统的特点分别选用不同的线性化技术。

**关键词：**邻道泄漏功率比 (ACLR), EVM( Error Vector Magnitude), 前馈 (feedforward), 预失真 (predistortion), 线性功放 (LPA), 多载波线性功放 (MCPA) .

### 1 引言

数字通信技术的发展，尤其是 CDMA 和第三代移动通信技术的发展，对线性功放提出了新的要求。在移动通讯系统中，为了保证一定范围的信号覆盖，我们通常使用功率放大器来进行信号放大，进而通过射频前端和天馈系统发射出去。在 CDMA 或 W-CDMA 的基站中，即使是单载频，也需要采用线性功放。这是因为 CDMA 技术是随机包络的宽带信道，如果采用一般的高功放（通常工作于 AB 类）将由于交调失真的影响产生频谱再生效应，如图 1 所示。因此，在高功放的基础上必须对其进行线性化处理 (Correct)，这就称为线性功放，它可以较好地解决信号的频谱再生问题。不仅如此，线性功放在基站中的成本比例约占 1/3，如何有效、低成本地解决功放的线性化问题就显得非常重要。

线性化问题在卫星通信，数字化广播发射机，蜂窝基站，直放站甚至手机中都存在，只要单元电路输入信号中存在多个频率分量和非平衡包络调制信号，就必须考虑线性化问题。只是由于不同的信号电平和不同的使用场合，使得其难易程度会有很大的差别。

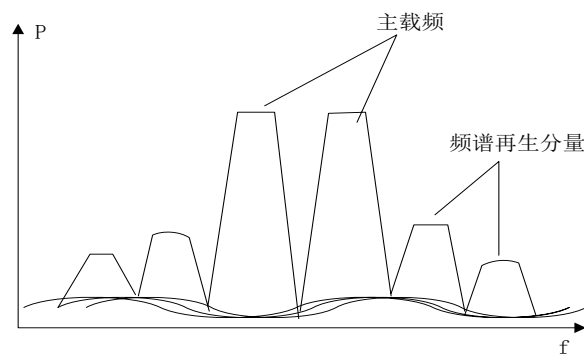


图 1 HPA 产生的频谱再生

## 2 移动通信基站的线性化

### 2.1 GSM 功放的线性化

GSM 是一种成熟的技术，下行工作频段为 925-960MHz 和 1805-1880MHz。是一种 TDMA 的工作方式，其信道带宽是 200KHz，采用 GMSK 调制。GMSK 调制是平衡包络调制，所以主功放的利用率较高，即系统效率也容易做的比较高。尽管信道频带窄，工作频率相对较低，但 GSM 多载波线性功放的困难是显而易见的，其三阶交调分量的

抑制要求 $\leq -70\text{dBc}$ 。目前多数产品都采用高功放技术，进而在功放的输出端合路。其好处是简单，但合路损耗大，理论上二路的合路损耗达 3dB。

EDGE 是 GSM 系统的一种重要的演进，它采用 8PSK 调制，有一定的峰均比。所以需要考虑线性问题。一般情况下，GSM 功放同时兼容 EDGE，但用在 EDGE 的情况下会降低功率约 3dB 左右使用。

## 2.2 PHS 系统的线性化

PHS 系统即我们通常说的小灵通，其工作频率是 1895-1920MHz，信道带宽 300kHz。PHS 系统的特点是基站数量多，但输出功率小，小基站为几十 mW，大基站也仅几百 mW 至几瓦。对邻道功率的要求是：

$$\leq 800\text{nW}@600\text{kHz},$$

$$\leq 250\text{nW}@900\text{kHz}.$$

由于其输出功率小，线性化比较简单，但要重视高阶交调的影响。

## 2.3 CDMA 和 CDMA2000 系统的线性化

CDMA 和 CDMA2000 下行的工作频段在 869-894MHz 和 1930~1990MHz，信道带宽 1.2288MHz，邻道功率比和带外频谱的要求：

$$< -45\text{dBc} @ \pm 750\text{kHz offset Center Freq (RBW 30kHz)}$$

$$< -60\text{dBc} @ \pm 1.98\text{MHz offset Center Freq (RBW 30kHz)}$$

$$< -60\text{dBc} @ \text{ other out-band (RBW 30kHz)}$$

CDMA 系统采用 QPSK 调制，属于非衡包络调制。对这类系统，功放设计时要考虑到输入信号的峰均比。一般来说，峰均比会大于 10。对一个功放而言，当输出的平均功率一定时，峰均比越大，线性指标就越难以达到，设计时较之衡包络信号就需要更大的功率容量。

CDMA 功放线性化的难度是在几 MHz 处满足规范的要求。

## 2.3 WCDMA 系统的线性化

WCDMA 的频率高，频带宽，指标也比 CDMA 或 CDMA2000 高，对功放的线性化问题是一个挑战，在这里作重点介绍。

一个典型的多载波线性功放的参数如下：

参数	规格
频率	2110-2170MHz
输出功率	30W (每模块)
增益	50±1dB (在整个频率范围内)
增益平坦度	±1dB (在整个温度和频率范围内)
信道带内平坦度	±0.2dB (在任一 5MHz 信道内)
输出取样增益	-50±2 dB
输入/输出回损	> 15dB
邻信道泄漏功率比	<a href="#">48dBc@5MHz</a> <a href="#">53dBc@10MHz</a>
频谱辐射模板	见规范 3gpp25.104。
谐波	2 <sup>nd</sup> : < -45dBc, 3 <sup>rd</sup> : < -60dBc
带外杂散	< -60dBc
直流电压	-48V (-40 ~ -57V), or 28V
工作温度	-20° C ~ +55° C

储存温度	-40° C ~ +80° C
效率	> 10%
动态范围	25dB 内波动小于±0.5dB
MTBF	>100000 小时

WCDMA 系统的信道带宽达 5MHz，对于两载波的线性功放就要求工作带宽达 10MHz。而线性化技术是有带宽限制的。适用于 WCDMA 的线性化技术是前馈（feedforward）和预失真（predistortion）技术，下面我们来比较一下这两种技术的特点：

表 1 前馈及预失真技术比较

技术	抵消能力	带宽	优点	缺点	成本
前馈	20~30dB	>25MHz	改善线性最好，带宽最宽。	结构复杂，改善量受制于控制电路及射频电路。	高
模拟预失真	3~10dB	>25MHz	简单，微波段和中频段均能实现。	抵消能力有限，且对 IM3 比较有效果。	低
数字预失真	10~20dB	10~15 MHz	生产成本低，效率高。	较复杂，不如前馈成熟。	中

从表 1 可以看出，前馈和数字预失真技术都有良好的效果，这是目前的两种主流技术。对比来说，前馈比较成熟，性能稳定可靠，但相对复杂。预失真由于功放本身的记忆效应使得带宽和改善量方面不如前馈。

## 2.4 TD-SCDMA 功放低噪放模块的线性化

TD-SCDMA 功放低噪放模块是 TD-SCDMA 系统中重要的部件。其特点是功率小，峰均比高，体积、总量、效率和环境适应性要求高。一个基站用典型的 TD-SCDMA 功放低噪放模块的几项重要指标如下：

工作频率	2010.0MHz - 2025.0MHz
额定输出功率	六载波或三载波：总功率：>35dBm (AVG)
增益	常温下：45±1dB（整个频率内）；
通道带内波动	≤1.5dB@15MHz/≤1dB@10MHz
信道带内波动	≤0.2dB@1.6MHz
邻道泄漏功率比 (ACLR)	整个温度范围内，42dBc/1.6MHz；47dBc/3.2MHz
谐波抑制	≥45dBc
杂散抑制	≥70dBc
频谱辐射模板	满足频谱辐射模板
矢量误差 EVM	额定输出功率下，EVM≤3% (RMS)
发射关断时隙模板	满足 3GPP 指标
输入输出驻波比	≤1.5
直流电源电压 1	+28V

温度范围	工作温度范围: -40°C~+60°C
效率	≥7%

其难点在于效率和体积等指标。还有一点在于其 TD 方式工作，所以电源管理等要考虑上升下降沿的要求。

由于其体积受限，加上功率较小，可以用回退的方法来实现。如果能加上简单的预失真技术，那将大大提高其性能。但难点是大多数模拟预失真技术并不能用简单的电路实现。

还有就是体积等受限，工艺上的要求就非常高。

再加上它是功放低噪放一体的模块，有的 LNA 要求增益高，如果不重视 LNA 的设计，就会导致模块工作的不稳定，尤其在低温环境。

## 2.5 第四代移动通信系统的线性化

如果说 3G 数据的最高传输是 2Mbps 的话，而 4G 可以达到 100Mbps。而要实行此目标就有可能采用高速调制与快速链路自适应等技术。采用 16QAM 和 64QAM 等高阶调制技术可以达到在 5MHz 带宽中提供 10Mb/S 的水平。但高阶调制将明显降低噪声、干扰和其他信道损伤的抵抗力。对 16QAM 调制来说，ACP 会变得次要，而 EVM( Error Vector Magnitude)作为线性化指标会成为主要指标。

在 4G 中，接入方式除 CDMA 或 DS-SS-CDMA 外，还有一个选项是 OFDM，同样也是需要对功放进行线性化。可以预见，在 4G 中，功放的要求会越来越高，性能会越来越越好，但成本会越来越低。因为功放的线性化技术与其他无线系统中的技术一样，面临着一个飞跃。

## 3 手机的线性化

手机的输出功率较小，指标要求也较基站低，但对于 CDMA 和 WCDMA 手机来说，线性化的问题也是不容忽视的。下面是 3gpp 规范对 WCDMA UE 的一些要求：

- 码片速率： 3.84Mcps
- 发射频率： 1920—1980MHz
- 频道带宽： 5MHz
- 单载频最大输出功率： 1W
- 邻道功率泄漏抑制比 (ACLR)： (如邻道功率大于 -50dBm, 则 ACLR 应高于下表值。)

表 2 WCDMA UE 邻道泄漏要求

功率等级	邻波道频偏	邻波道抑制
3	+ 5 MHz or - 5 MHz	33 dB
3	+ 10 MHz or - 10 MHz	43 dB
4	+ 5 MHz or - 5 MHz	33 dB
4	+ 10 MHz or -10 MHz	43 dB

从表 2 看出，在 5MHz 处邻道抑制的最低要求是 33dB，设计时应考虑在 35dB 以上，[如果功放本身的 ACLR 是 25dBC@1W](#)，则需要有 10dB 以上的抵消要求，由于手机的体积小，不可能把线性化电路做的太复杂，通常会选用 EE & R(The Envelope Elimination and Restoration)此类的技术，所以 10dB 的指标并不是一个低的要求。一般来说，国外厂家会推出一些线性化的集成块，但器件的选择使用上也必须正视此问题。

电源效率是 WCDMA 和 TD-SCDMA 手机面临的一个难题。

## 4 直放站和 BOOSTER 的线性化

直放站和 BOOSTER 的线性化问题就其技术上来讲与基站相类似，如目前比较热门的 CDMA 直放站，其指标与基站是相近的。区别是联通用的直放站还定义了对三阶交调分量的要求，指标是不大于 $-14\text{dBm}$ ，这提高了对其线性度的要求。另外，由于直放站的增益高，在系统设计时需要特别考虑信号的隔离等问题。因为稳定性是线性化的前提。

目前使用的直放站基本上是单载波的，所以相对比较简单。多载波的情况会困难的多。

## 5 数字化广播发射机的线性化

数字化电视系统已经在国内启动，数字化电视发射机就必须解决其线性化问题，另外广播发射机较之普通通信基站对 EVM( Error Vector Magnitude)有更高的要求。3gpp25.104 中规定，对仅为 QPSK 调制的信号，基站系统的 EVM 小于 17.5 % ；而包含 16QAM 调制信号，基站系统的 EVM 应小于 12.5 % 。

## 6 总结

以上简单地介绍了线性化技术在无线通信和广播电视领域内的广泛应用，实现线性化技术有一定的难度，但它给系统带来的好处是提高效率，节省体积，降低成本。针对每一类系统的特点和要求，应该采用相应的技术。如 CDMA 单载频线性化可选用较简单的预失真技术来达到，而 WCDMA 高功率多载频线性化就应该用前馈或数字预失真等较复杂的技术。线性化是系统实行中一个十分重要的方面，必须引起设计者的重视。

### 参考文献

1. TS 25.104 V5.3.0(2002-6), UTRA(BS)FDD; Radio transmission and Reception. 3GPP,Technical Specification Group (TSG) RAN WG4.
2. TS 25.101 V5.3.0(2002-6), UTRA(UE)FDD; Radio transmission and Reception. 3GPP,Technical Specification Group