



## UMTS 基站接收器占板面积仅为半平方英寸

UMTS Base Station Receiver Fits in Half-Inch Square

Douglas Stuetzle 高级模块设计工程师 Todd Nelson 模块开发经理 凌力尔特公司

在满足宏蜂窝基站性能要求的前提下，集成度究竟能够达到多高？工艺技术仍然限定某些重要的功能部件必须采用特殊工艺来制造：在射频（RF）领域采用GaAs和SiGe工艺，高速ADC采用细线CMOS工艺，而高品质因数（High-Q）滤波器则无法采用半导体材料很好地实现。此外，市场对于提高集成度的需求并没有停止。

考虑到上述问题，凌力尔特决定采用系统级封装（SiP）技术来开发占板面积约为1/2平方英寸（仅刚刚超过3cm<sup>2</sup>）的接收器。接收器的边界处有50ΩRF输入、50ΩLO输入、ADC时钟输入及数字ADC输出。该边界留待增加低噪声放大器（LNA）和RF滤波，用于输入、LO和时钟发生，以及数字输出的数字处理。在15mm x 22mm

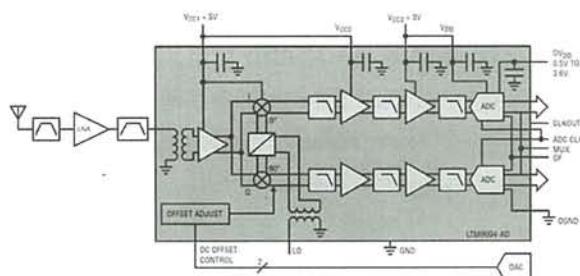


图1 在LTM9004微型模块接收器中实现的直接转换架构

封装内是一个采用SiGe高频组件、分立无源滤波和细线CMOS ADC的信号链路。

本文将对LTM9004微型模块（μModule）接收器（一款直接转换接收器）进行设计分析。

### 设计目标

设计目标是通用移动通信系统（UMTS）上行链路频分双工（FDD）系统，特别是处于工作频段I的中等覆盖范围基站（详见3GPP TS25.104 V7.4.0规范）。对于接收器而言，灵敏度是一个主要的考虑因素，输入信噪比（SNR）为-19.8dB/5MHz时，所要求的灵敏度≤-111dBm。这意味着接收器输入端的有效噪声层必须≤-158.2dBm/Hz。

### 设计分析：零IF或直接转换接收器

LTM9004是一款采用了I/Q解调器、基带放大器和双通道14位125Msps ADC的直接转换接收器（图1）。

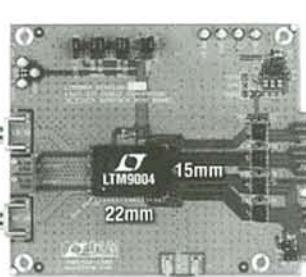


图2 设计一款完整接收器所需的外部电路极少

LTM9004-AC低通滤波器在9.42MHz频率下具有一个0.2dB的拐角，从而允许4个WCDMA载波。LTM9004可与RF前端一起使用，构成一个完整的UMTS频段上行链路接收机。RF前端由一个双工器以及一个或多个低噪声放大器（LNA）和陶瓷带通滤波器组成。

为最大限度地减低增益和相位失衡，基带链路采用了一种固定增益拓扑结构。因此，在LTM9004之前需要布设一个RF可变增益放大器（VGA）。这里给出了此类前端的典型性能示例：

- 接收（Rx）频率范围：1920MHz~1980MHz
- RF增益：15dB（最大值）



- 自动增益控制 (AGC) 范围: 20dB
- 噪声指数: 1.6dB
- IIP2: +50dBm
- IIP3: 0dBm
- P1dB: -9.5dBm
- 20MHz 时的抑制: 2dB
- 发送 (Tx) 频段上的抑制: 96dB

考虑到 RF 前端的有效噪声影响, 由 LTM9004 所引起的最大可容许噪声必须为 -142.2dBm/Hz。LTM9004 的典型输入噪声为 -148.3dBm/Hz, 由此计算出的系统灵敏度为 -116.7dBm。

通常, 此类接收器可受益于 ADC 之后的某些数字化信号之 DSP 滤波。在这种情况下, 假设 DSP 滤波器是一个具有  $\alpha = 0.22$  的 64 抽头 RRC 低通滤波器。为了在出现同信道干扰信号的情况下工作, 接收器在最大灵敏度

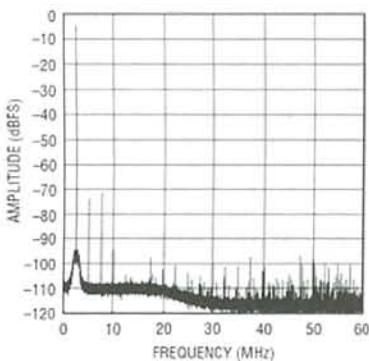


图3 单音调 FFT

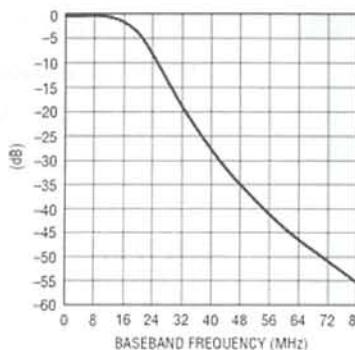


图4 基带频率响应

下必须拥有足够的动态范围。UMTS 规范要求最大同信道干扰为 -73dBm。请注意, 对一个具有 10dB 峰值因数的已调制信号而言, 在 LTM9004 的 IF 通带之内, -1dBFS 的输入电平为 -15.1dBm。在 LTM9004 输入端, 这相当于 -53dBm, 或者 -2.6dBFS 的数字化信号电平。

当 RF 自动增益控制 (AGC) 设定为最小增益时, 接收器必须能从手机中解调出预计所需的最大信号。这种要求最终将 LTM9004 必须提供的最大信号之大小设定在 -1dBFS 或其以下。规范中所要求的最小路径损耗为 53dB, 且假定手机的平均功率为 +28dBm。那么在接收器输入端, 最大信号电平即为 -25dBm。这等效于 -14.6dBFS 的峰值。

UMTS 系统规范中详细说明了几种阻断信号。在存在此类信号的情况下只允许进行规定了大小的减敏, 灵

敏度指标为 -115dBm。其中的第一种是一个相距 5MHz 的相邻信道, 其电平为 -42dBm。数字化信号电平的峰值为 -11.6dBFS。DSP 后处理将增加 51dB 抑制, 因此, 这个信号在接收器输入端相当于一个 -93dBm 的干扰信号。最终的灵敏度为 -112.8dBm。

而且, 接收器还必须与一个相隔  $\geq 10\text{MHz}$  的 -35dBm 干扰信道竞争。 $\mu$  Module 接收器的 IF 抑制将使这个干扰信道衰减至相当于峰值为 -6.6dBFS 的数字化信号电平。经过 DSP 后处理, 其在接收器输入端上相当于 -89.5dBm, 最终的灵敏度为 -109.2dBm。

另外, 还必须考虑到带外阻断信号, 但这些带外阻断信号的电平与已经讨论过的带内阻断信号相同。

在所有这些场合中, LTM9004 的 -1dBFS 典型输入电平均远远高于最大预期信号电平。请注意, 已调制信道的峰值因数将大约在 10dB ~ 12dB, 因此, 在 LTM9004 的

输出端上, 其中最大的一个将达到约 6.5dBFS 的峰值功率。

最大的阻断信号是 -15dBm 连续波 (CW) 音调 (超过接收频段边缘  $\geq 20\text{MHz}$ )。RF 前端将对这个音调提供 37dB 抑制, 因此, 它出现在 LTM9004 的输入端时将为 -32dBm。此时, 这种电平值的信号仍然不允许降低基带  $\mu$  Module 接收器的灵敏度。等效的数字化电平峰值仅为 -41.6dBFS, 因此对灵敏度没有影响。

另一个不想要的干扰信号功率源来自发送器的泄漏。因为这是一种 FDD 应用, 所以此处描述的接收器将与一个同时工作的发送器相耦合。该发送器的输出电平假定为  $\leq +38\text{dBm}$ , 同时“发送至接收”的隔离为 95dB。那么, 在 LTM9004 输入端上出现的泄漏为 -31.5dBm, 相对于接收信号的偏移至少为 130MHz。等效的数字化电平峰值仅为 -76.6dBFS, 因此不会降低灵敏度。

直接转换架构的一个挑战是二阶线性度。二阶线性度不理想将允许任何期望的或不期望的信号进入, 这将引发基带上的 DC 失调或伪随机噪声。如果这种伪随机噪声接近接收器的噪声电平, 那么上面详细讨论过的那些阻断信号将降低灵敏度。在这些阻断信号存在的各种情况下, 系统规范都允许灵敏度降低。按照系统规范的规定, -35dBm 阻断通道可以使灵敏度 **下转 121**



**上接118** 降至 -105dBm。如我们在上文中看到的那样，这种阻断信号在接收器输入端上构成了一个 -15dBm 的干扰信号。LTM9004 输入所产生的二阶失真大约比热噪声低 16dB，结果，预测的灵敏度为 -116.6dBm。

-15dBm 的 CW 阻断信号还将导致二阶分量；在这种情况下该分量是一个 DC 失调。DC 失调是不希望有的，因为它减小了 A/D 转换器能够处理的最大信号。一种减轻 DC 失调影响的可靠方法是，确保基带  $\mu$  Module 接收器的二阶线性度足够高。在 ADC 的输入端，由于这一信号所产生的预测 DC 失调  $<1\text{mV}$ 。

请注意，系统规范中并不包括发送器泄漏。所以，因这一信号产生的灵敏度下降必须保持在最低限度。发送器的输出电平假定为  $\leq +38\text{dBm}$ ，与此同时，“发送至接收”隔离为 95dB。LTM9004 中产生的二阶失真导致的灵敏度损失将  $<0.1\text{dB}$ 。

在规范中对于三阶线性度仅有一个要求。这是在存在两个干扰信号的情况下，灵敏度不得降至低于 -115dBm。这两个干扰信号是一个 CW 音调和一个 WCDMA 信道，它们的大小均为 -48dBm。这些干扰信号均以 -28dBm 的大小出现在 LTM9004 的输入端。它们的

频率与期望的信道相隔 10MHz 和 20MHz，因此，三阶互调分量将位于基带上。此时这个分量仍然以伪随机噪声的形式出现，因而致使信噪比降低。LTM9004 中产生的三阶失真比热噪声层大约低 20dB，预计的灵敏度下降值  $<0.1\text{dB}$ 。

## 测量性能

通过采用图 2 中示出的评估板，LTM9004-AC 获得了优异的测试结果（如图 3 和 4 所示）。测试装置包括两个用于 RF 和 LO 的 Rohde & Schwarz SMA 100A 信号发生器以及一个用于 ADC 时钟和 TTE 嵌入式滤波器的 Rohde & Schwarz SMY 01 发生器。

采用 5V 和 3V 电源时，LTM9004-AC 的总功耗为 1.83W。其 AC 性能包括 72dB/9.42MHz SNR 和 66dB SFDR。

## 结论

LTM9004 不但拥有 UMTS 基站应用所需的高性能，而且还提供了对于紧凑型设计而言必不可少的小尺寸和高集成度。通过运用 SiP 技术，这款  $\mu$  Module 接收器可采用以最优工艺（SiGe、CMOS）制作的组件及无源滤波器元件。■W