

引言

AFE7950 等现有的射频 (RF) 采样收发器可在高达 X 带 (12GHz) 的频率下运行。要在整个 K 带 (12GHz 至 40GHz) 下运行需修改设计。一种方法是使用直接转换调制器和解调器将基带信号直接与 K 带频率进行混合。另一种方法是将射频采样收发器用作超外差架构中的高频中频 (IF) 级, 其中 IF 频率向上或向下混频至所需的 K 带。这两种设计都需要高频、低相位噪声合成器作为混频器的 LO 源。

图 1 展示了一个典型的超外差收发器架构, 此架构使用适合于在 K 带运行的射频采样数据转换器。数据转换器输出或输入可在 X 带频率范围内运行。混频级可转换为 K 带频率或从 K 带频率转换。方程式 1 根据所需的射频频带和所需的 IF 频率确定 LO 频率。

$$LO = RF - IF \quad (1)$$

LMX2820 射频合成器本身支持高达 22GHz 的运行频率。该范围直接支持 Ku 频带 (12GHz 至 18GHz)。为了支持 K 频带 (18GHz 至 27GHz) 和 Ka 频带 (26.5GHz 至 40GHz), 有时需要更高的频率, 具体取决于 IF 频率选择。图 2 展示了在三种不同 IF 频率下 LO 频率与射频频带的函数关系图: 0Hz (ZIF)、4GHz 和 8GHz。对于要求 LO 超过 LMX2820 22GHz 阈值的 IF 频率和射频频带频率组合, 级联外部倍频器可充分扩展输出频率。

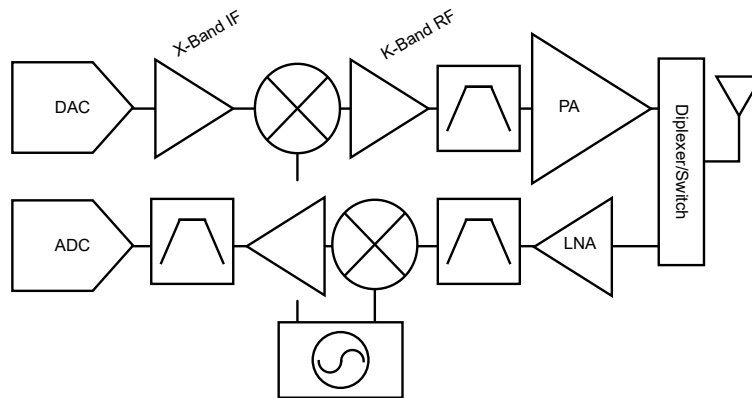


图 1. K 带超外差收发器

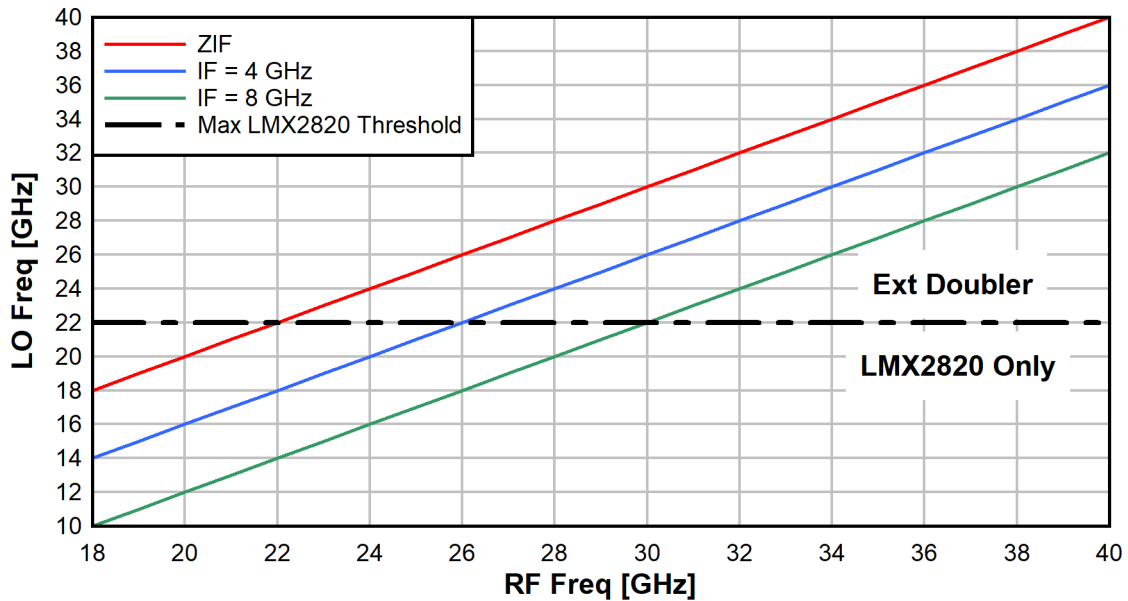


图 2. LMX2820 外部倍频器的阈值

频率规划

LMX2820 中的内部压控振荡器 (VCO) 支持 5.65GHz 至 11.3GHz 的范围。内部分频器会产生较低的频率。集成倍频器可生成高达 22.6GHz 的更高频率。外部倍频器可将频率扩展到 40GHz 以上。

此分析使用 MACOM® XX1000-QT 有源倍频器。该器件的工作频率高达 45GHz，并包含一个输出放大器，可将信号提高到 10dBm 以上，这足以用作混频器 LO。

目标频率为 26.4GHz。这对于许多主流的 Ka 频带应用来说都是理想的选择。对于该频率选择，LM2820 中的基本 VCO 频率为 6.6GHz。启用内部倍频器后，输出频率为 13.2GHz。该频率通过外部倍频器达到 26.4GHz。

与任何乘法器或倍频器一样，基频不会完全抑制。由于这种方法本质上是“乘以 4”运算，因此应该会观察到基波和二次谐波的残留。为了实现出色运行，应在输出信号周围提供一些滤波，以在次谐波感染混频器之前消除次谐波。

相位噪声性能

图 3 展示了设计设置方框图。LMX2820 的参考频率为 100MHz，由 Rohde SMA100B 信号发生器生成。内部基准倍频器可创建 200MHz 的 PFD 频率。通过 N 分频器设置 33，将内部 LMX2820 VCO 调谐至 6.6GHz。

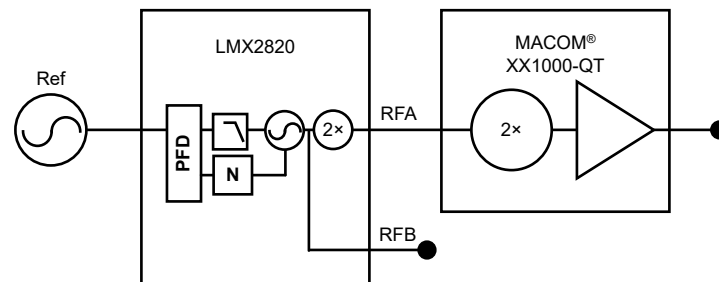


图 3. 测量块原理图

LMX2820 锁相环 (PLL) 正确锁定后，器件会直接输出频率，将频率分频或将频率提高 2 倍。启用乘法器后，输出频率为 13.2GHz。该频率注入外部倍频器以生成 26.4GHz。

图 4 展示了三种频率的相位噪声性能：6.6GHz 时的基频、13.2GHz 时的内部双倍频、26.4GHz 时的外部双倍频。26.4GHz 时的输出功率刚刚超过 11dBm，这是混频器 LO 级别的适当范围。该图还展示了理想情况下 ($20 \times \log(N)$) 乘以 4 的基频。实际测量值与理想情况一致，但在高频偏移时本底噪声略有增加。

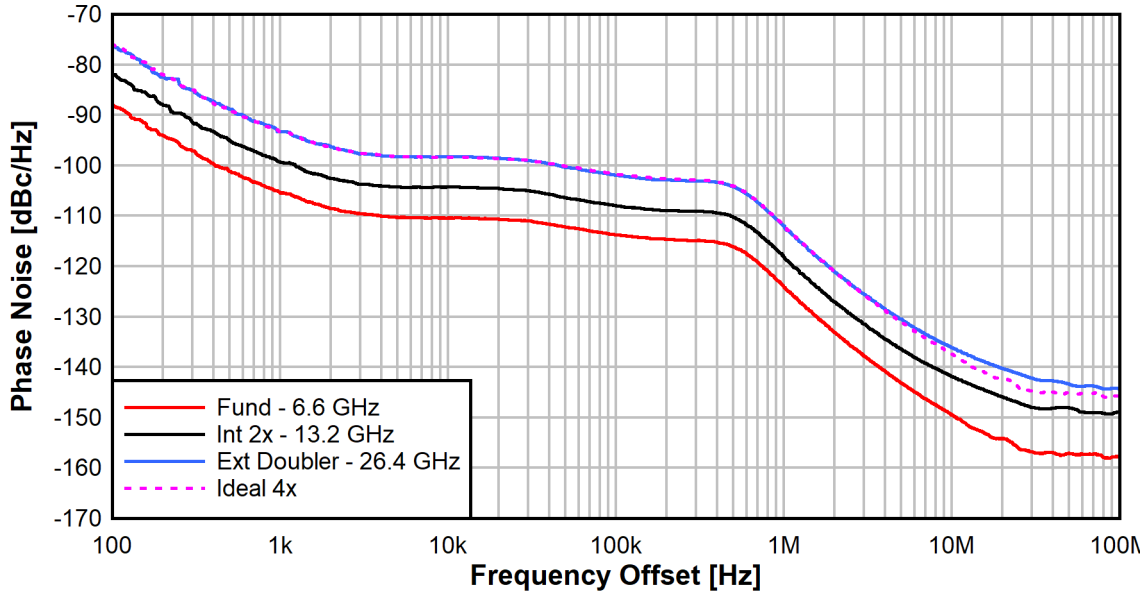


图 4. 相位噪声图

次谐波性能

次谐波会使混合操作失真，并在输出端产生不必要的杂散。表 1 显示了该设置的次谐波杂散性能。

表 1. 次谐波性能

音调	频率	电源
所需音调	26.4 GHz	11.3dBm
1/2 HD	13.2 GHz	-17dBc
1/4 HD	6.6 GHz	-58dBc

半谐波仅为 -17dBc。在所需音调的高输出功率下，半谐波绝对功率约为 -6dBm。此级别有时可能足够高，足以导致问题，需要进行一些滤波以消除威胁。四分之一谐波小于 -40dBm；预计该音调足够低，不会引起任何不必要的问题。

次谐波滤波

对于半谐波杂散电平过高的情况，在输出端引入高通（或带通）滤波器以抑制信号；但是，在 26GHz 下创建滤波器并非易事。幸好，选择性要求较低，间距较高，这简化了滤波器设计。集总元件滤波器在这些频率下不切实际，因为元件值小得离谱，并且寄生影响占主导地位。或者，使用分布式开路残桩线滤波器在 13.2GHz 处对频率进行陷波，并通过 26.4GHz 测试。

基本的滤波器是单个开路残桩，在次谐波频率下为四分之一波长。四分之一波残桩在初级传输线路的次谐波频率处呈现射频短路，并抑制该频率。在所需频率下，残桩看起来像是传输线路上的开路，不会衰减信号。

虽然理想情况下单个残桩可提供超过 40dB 的选择性，但有效带宽较窄。鉴于所需的频率和次谐波只是单音调，因此不需要宽带宽陷波；但是，最好考虑印刷电路板 (PCB) 制造容差和三维辐射效应，这些效应有时会无意中改变精确的中心频率。使用由八分之一波传输线分开的两个四分之一波残桩，可以有效地创建两个频率稍有分离的极点，从而提供超过 1GHz 的有效 20dB 下行带宽。该陷波允许发生容差变化，同时仍可实现 20dB 或更佳的选择性。图 5 显示了 Keysight ADS 仿真原理图，其中包含在微带中实现的两个残桩。

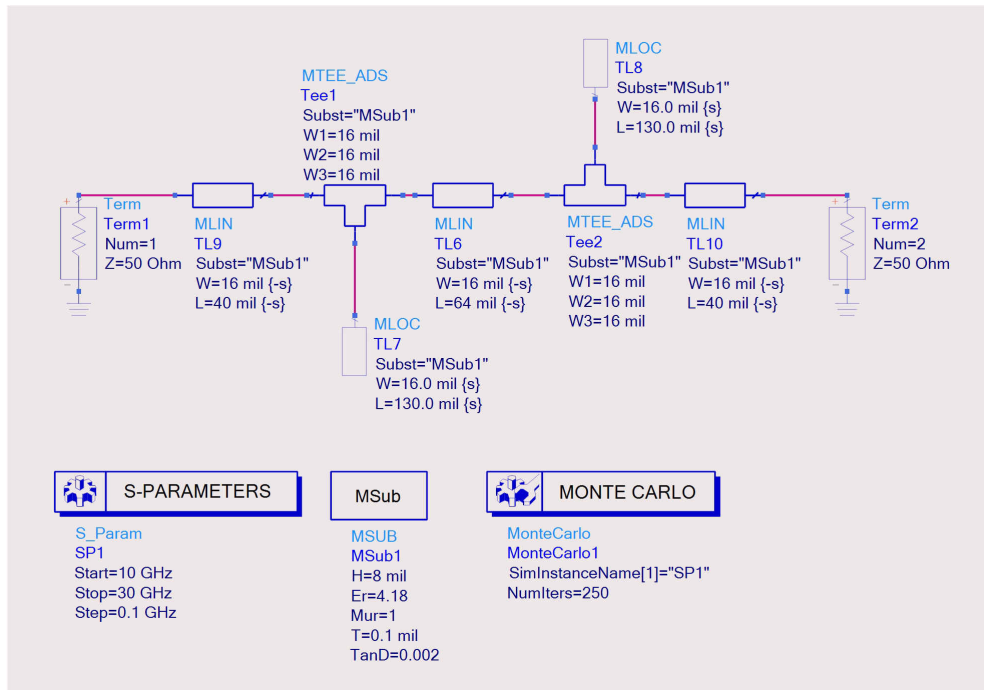


图 5. 双残桩次谐波 13GHz 陷波滤波器

图 6 展示了精确的仿真滤波器响应，还展示了 250 次 Monte Carlo 仿真的最小值和最大值范围，其中允许布线宽度和残桩长度变化 $\pm 10\%$ 。Monte-Carlo 仿真在包含容差的情况下可实现最小 20dB 的选择性。此滤波器在 PCB 设计中很容易实现，无需额外器件，并且占用的电路板面积低于 20 平方毫米。

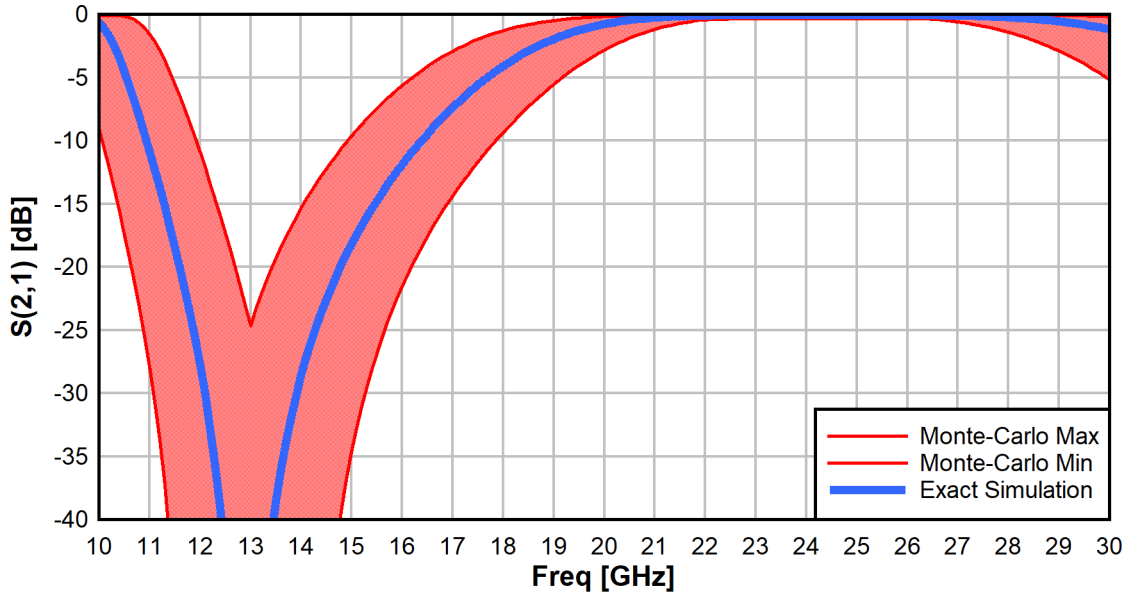


图 6. 13GHz 次谐波陷波滤波器响应

总结

LMX2820 和外部倍频器适用于要求 LO 源高于 22GHz 的应用。此设计非常适合通信系统、雷达和电子战 (EW) 设计以及在 K 和 Ka 频带中运行的卫星地面通信应用。相位噪声性能良好，并根据 LMX2820 的基本 VCO 性能跟踪 4 倍频系统的预期性能。此设计紧凑，而且可通过编程来满足各种频率生成需求。

参考文献

1. 德州仪器 (TI), [LMX2820 具有相位同步功能和 JESD204B 支持的 22.6GHz 宽带 PLLatinum™ 射频合成器](#) 数据表
2. 德州仪器 (TI), [AFE7950 适用于 K 带的超外差解决方案](#) 应用手册
3. 德州仪器 (TI), [LMX2820 射频合成器使用替代拓扑改善相位噪声](#) 应用手册

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司