



Russell Hoppenstein

### 摘要

本应用报告展示了恢复超外差架构可为访问 K 频带应用带来的优势。该方案使用 AFE7950 射频采样收发器来实现第一个转换级。该器件实现了高频 IF 级，可为任何 LO 渗入或图像提供充分的分离，以便于滤除。与现有的直接转换方案相比，该架构可提供更佳的性能，并且以更灵活的方式支持具有较低 LO 频率的各种信号带宽。

### 内容

1 引言.....	2
2 直接转换架构限制.....	2
3 超外差（回归），可解决问题.....	4
4 总结.....	5
5 参考文献.....	5

### 插图清单

图 2-1. 直接转换损耗.....	3
图 3-1. 超外差架构中的 AFE7950.....	4
图 4-1. K 频带超外差方框图.....	5

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

K 频带的工作频率为 18GHz 至 40GHz。常见的应用往往涉及的频带是 18GHz 至 20GHz 的 Ku 频带和 26GHz 至 28GHz 的部分 Ka 频带。随着新的高频调制器和解调器上市，直接转换架构取代了此类系统的传统分立式超外差架构。

直接转换架构本身并不新鲜。有文档详尽记录了精简型结构和高带宽能力的优势；然而，在频率非常高的情况下进行应用，可能会带来复杂的问题。以前没有很好的替代方案，但新的射频采样器件使超外差架构重新进入人们的视野。

## 2 直接转换架构限制

TX 调制器采用复杂的 I/Q 数据输入并混频至所需的射频频率。同样地，RX 解调器也会向下混频至正交基带。在这两种情况下，I/Q 基带路径内的不平衡问题都会导致系统级性能下降。直流偏移不平衡会导致发射器输出端的载波泄漏或 RX 输出端的直流分量。I 和 Q 路径间的振幅和相位不平衡会导致边带（即图像）抑制性能下降。大部分的不平衡是由调制器本身和 I/Q 路径中低通滤波器的容差变化造成的。

此类损耗并不是什么新鲜事。通常情况下，TX DAC 或 RX 解调器具有调节功能，可以微调 I 和 Q 路径间的直流偏移、振幅和相位，以改善对不需要的分量的抑制。此类调节功能在一种温度和一种频率下有效。需要某种反馈回路来监控性能并根据频率或环境因素的变化调整参数。对于直接转换 K 频带调制器/解调器，其固有平衡性能比在低于 6GHz 条件下工作的相应器件要差。当固有性能开始下降时，就更难保持可达到卓越抑制效果的理想调谐状态。

图像抑制尤其成问题，因为图像叠加在所需信号本身上。没有办法对其进行滤除。即便使用频谱分析仪等典型的射频器件时，其不可见，但造成了信号失真，不再完好。通过误差矢量幅度 (EVM%) 测量可对信号信息进行解调，以了解图像引发的性能下降情况。图像性能问题可能导致总体性能下降高达 60%，包括与载波馈通、互调失真以及热噪声和相位噪声相关的其他损耗。同样，二阶互调 (IM2) 失真也会使接收器面临同样的问题。与三阶互调 (IM3) 不同，IM2 失真由任何高带宽信号或自身混频或落在所需信号所在的基带上的干扰器引发。参考部分的文章提供了有关该现象的更多详细信息。

图 2-1 显示了直接转换架构的预期损耗。

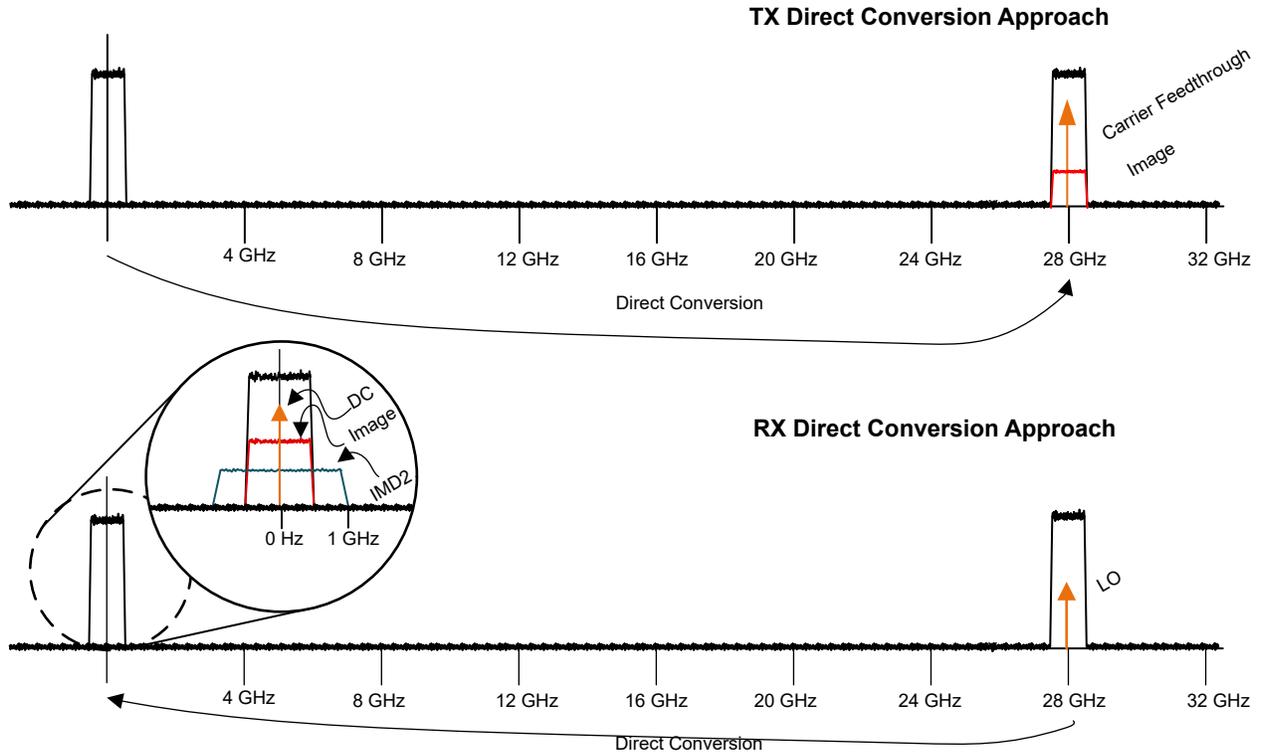


图 2-1. 直接转换损耗

### 3 超外差 ( 回归 ) , 可解决问题

恢复超外差架构解决了许多此类问题。这不再是以前那个时代的超外差架构了。使用 AFE7950-SP 射频采样收发器作为第一级是具有划时代意义的方案，特别是因为该器件支持直接对 X 带 ( 高达 12GHz ) 进行射频采样，并且是为航天应用而设计的。对于工作频率为 28GHz 的 K 频带应用，8GHz 左右的高 IF 频率颇为理想。高 IF 频率具有两大优势。主要的优势在于图像分离。在距离方面，图像和 LO 渗入相距遥远。可轻易滤除此类信号。如果采用 IF 低于 6GHz 的类似方法，产生的 LO 和图像分组则紧密得多，将很难或无法滤除信号。

第二个优势是降低了 LO 频率。找到良好的高频合成器是一项挑战。直接转换方案需要 LO 位于所需频带的中心，而超外差方案则通过 IF 频率量，降低了对频率的要求。使用 8GHz IF，达到 28GHz Ka 频带所需的 LO 为 20GHz。所需的频率仍然相当高，但使用 LMX2820 频率合成器解决方案可达到这一要求，并且只使用了两倍乘法器。对于航天级操作，LMX2615-SP 支持高达 15GHz 的 Ku 频带。图 3-1 显示了 IF 为 8GHz 的超外差架构的频谱。

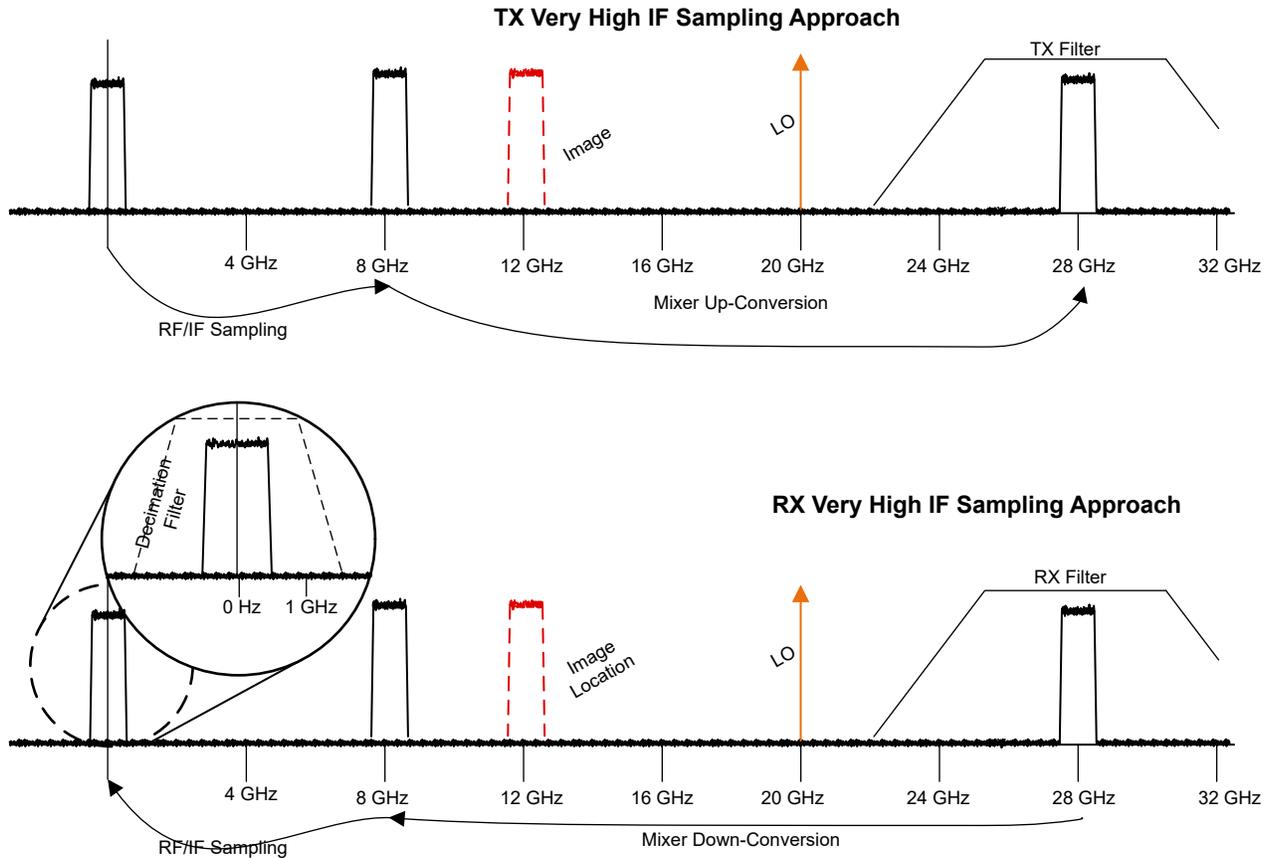


图 3-1. 超外差架构中的 AFE7950

在第一级中使用 AFE7950 的射频采样架构，可带来一些额外优势。AFE7950 支持高带宽信号，发射器带宽高达 2.4GHz，接收器带宽高达 1.2GHz。该器件集成了四个发射器和六个接收器，因此非常适合支持多通道应用和大型天线阵列。集成数控振荡器 (NCO) 有助于轻松调节跳频应用的 IF。此外，AFE7950 集成了一个高频 PLL/VCO，用于生成其高频采样时钟；无需通过电路板路由该信号。

## 4 总结

AFE7950 ( 或 AFE7950-SP ) 射频采样收发器和 LMX2820 ( 或 LMX2615-SP ) 合成器是超外差 K 频带收发器的组成部分, 如图 4-1 所示。使用适当的增益块、滤波器、低噪声放大器和功率放大器, 该解决方案得以充实。尽管与直接转换方案相比, 该解决方案的分立性要强得多, 但能够为多通道系统提供了很多优势。对于具有两个或更多通道的系统, 集成型 AFE7950 可使 PCB 占用空间更小、节省功耗并减少与 FPGA 或处理器的连接接口, 此外还具有消除共置图像的系统性能优势。

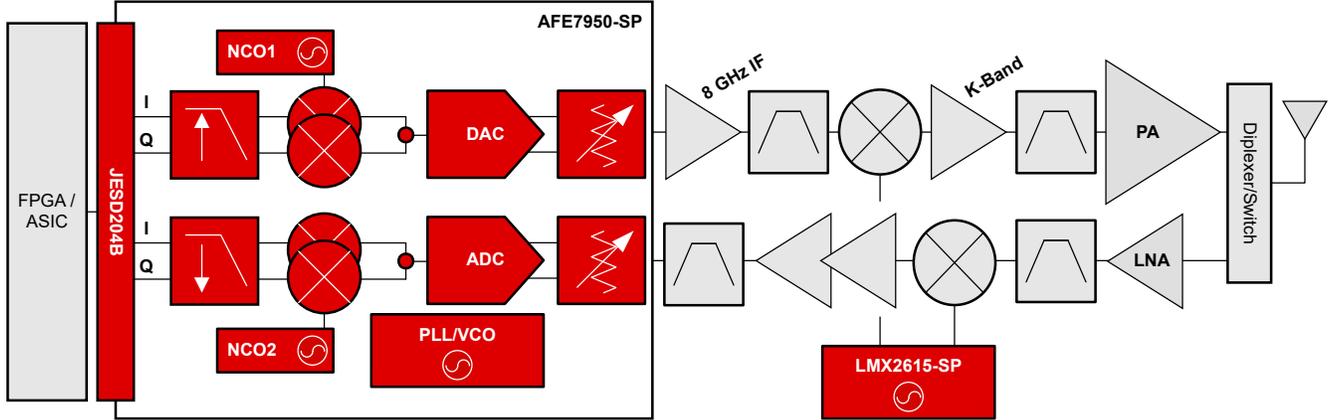


图 4-1. K 频带超外差方框图

## 5 参考文献

- Hoppenstein, Russell, “Digital Correction Revives Direct-Conversion Receivers”, Microwaves and RF, 52.S14.2013

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司