

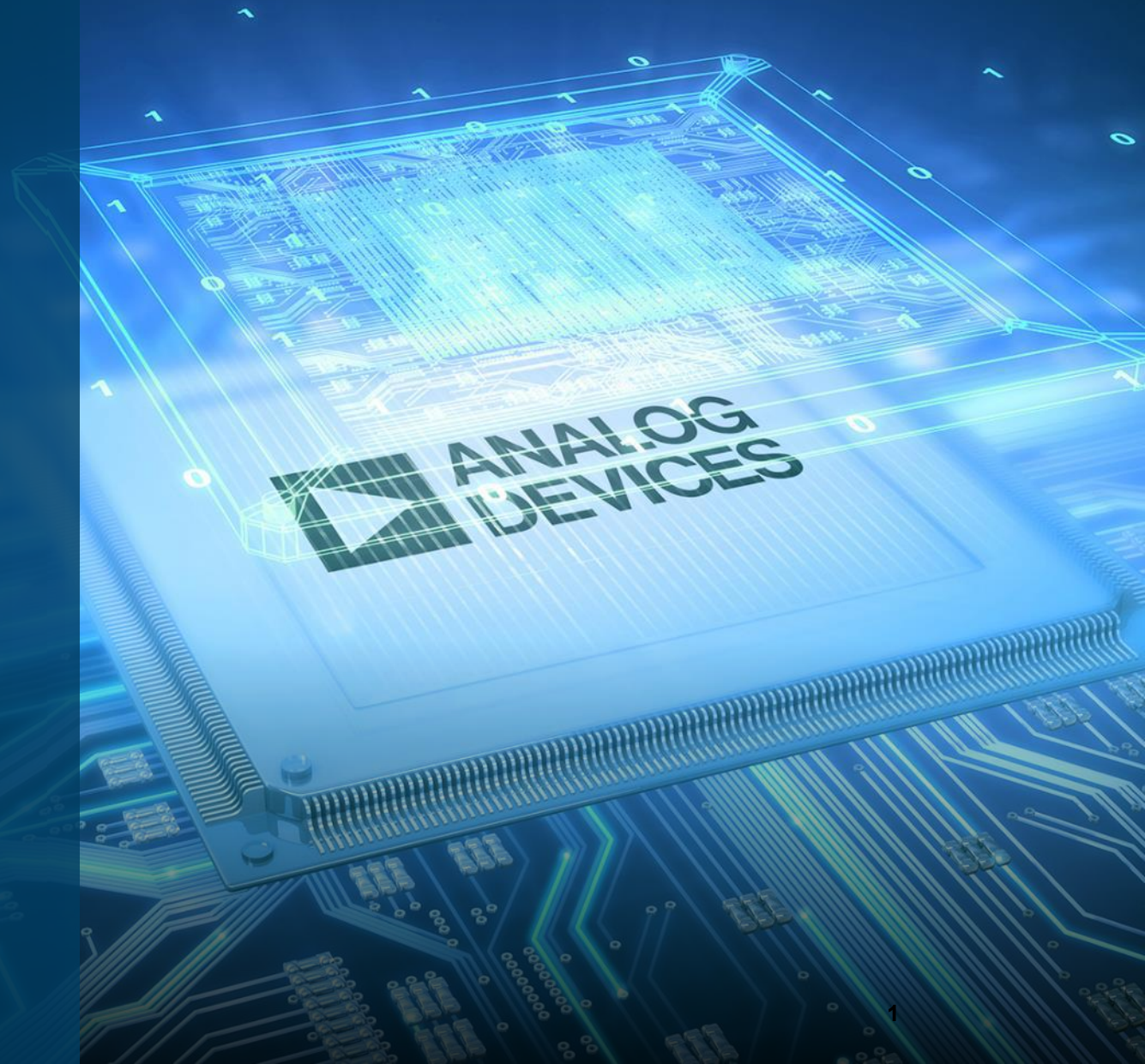


AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

利用RF转换器实现多种宽带应用

DANIEL E. FAGUE

高速DAC应用经理

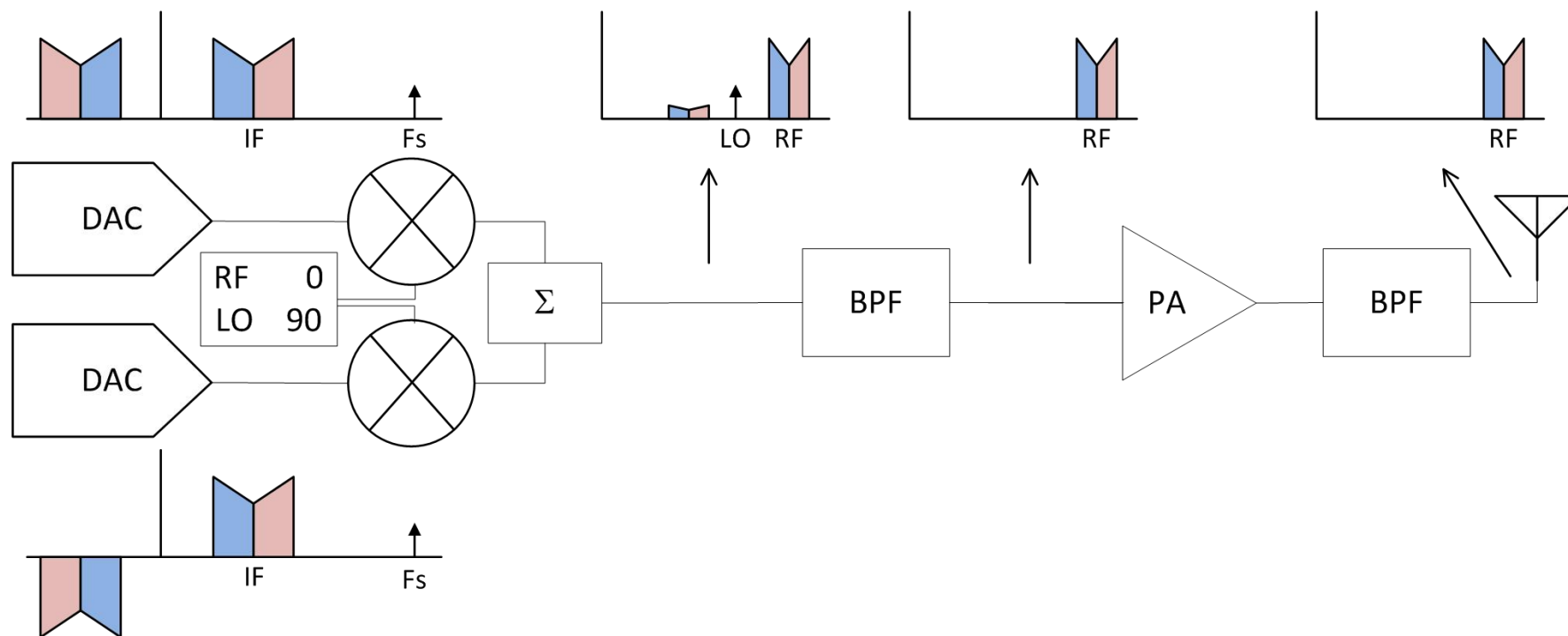


议题

- ▶ 无线电架构回顾
- ▶ RF DAC的应用
- ▶ RF转换器示例
- ▶ RF DAC的使用场景

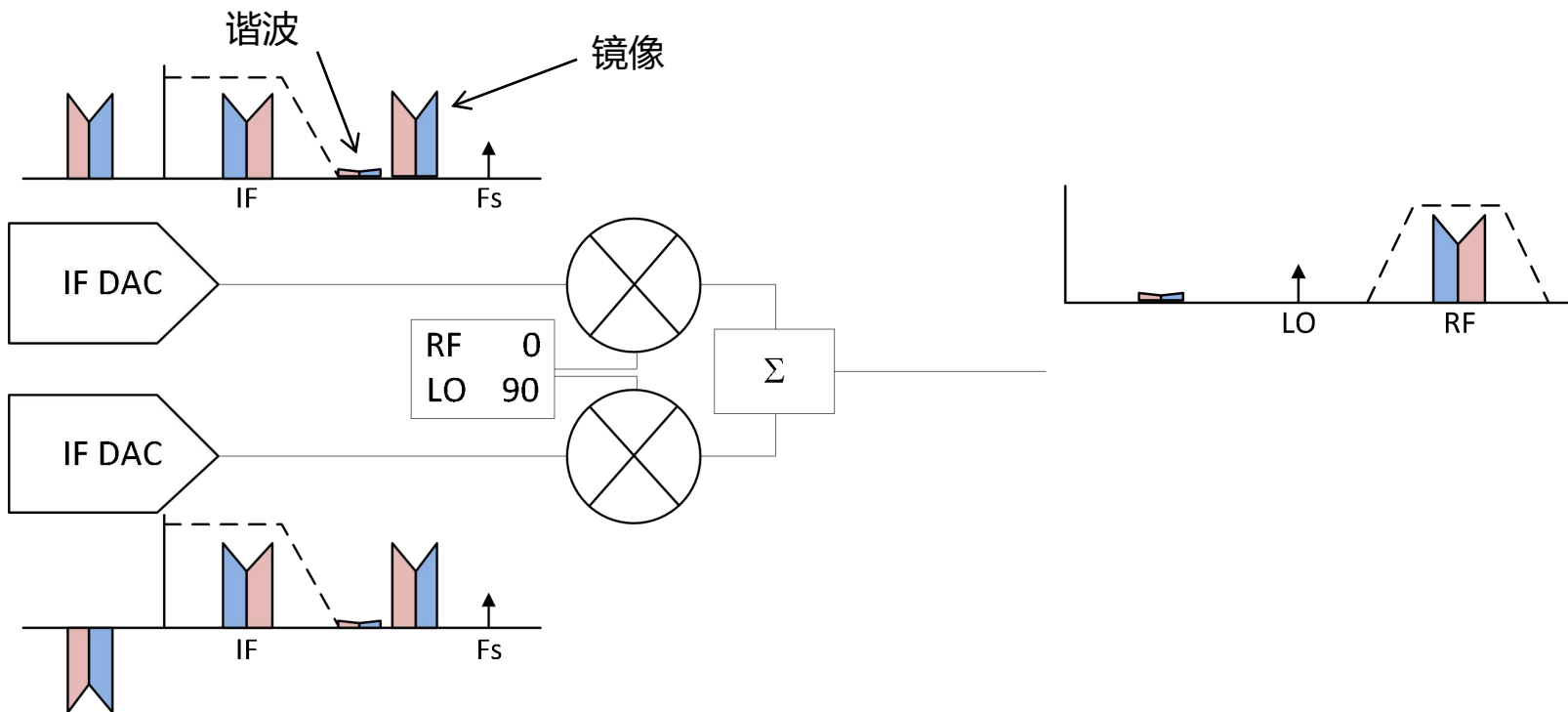
采用IF和RF DAC的发射机架构

复中频发射机信号处理



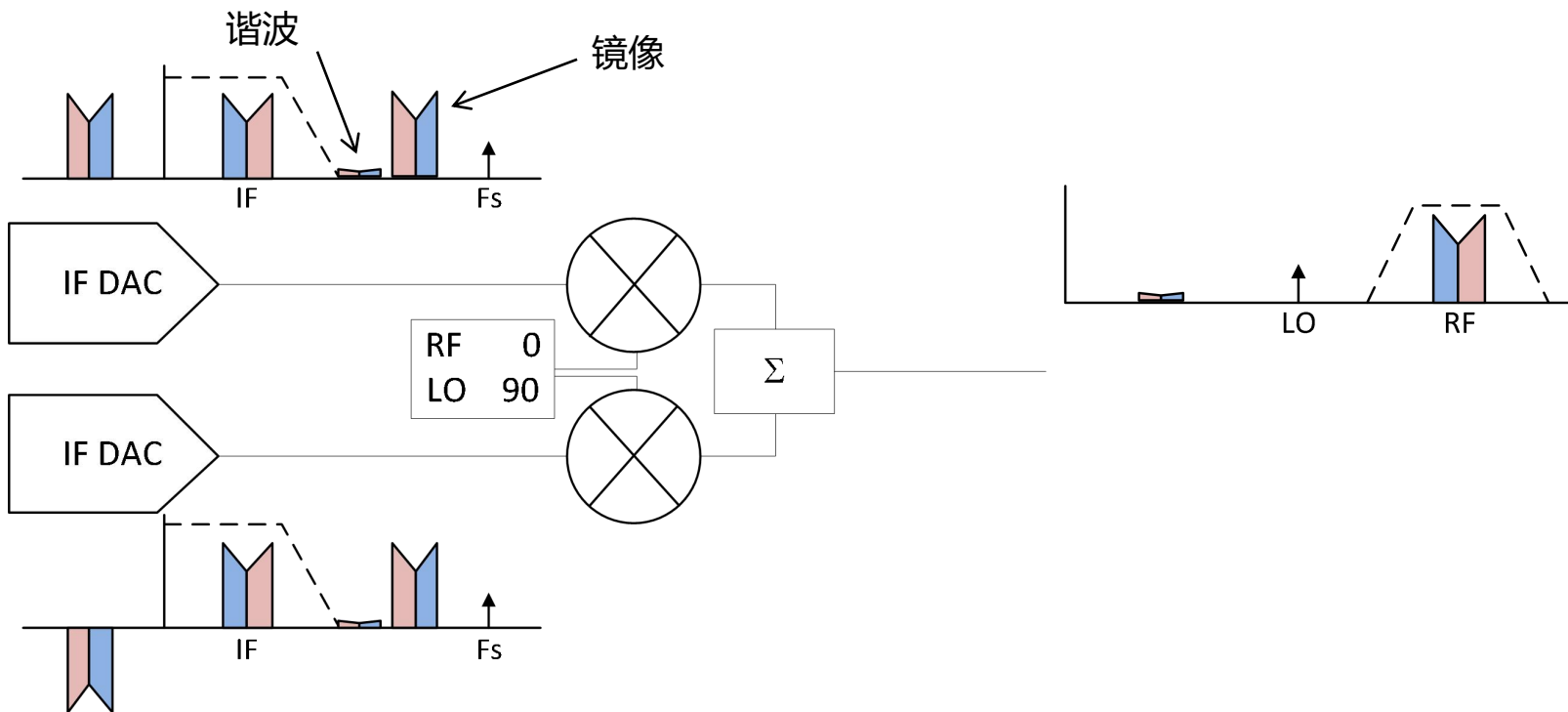
- ▶ 复中频架构是用 DAC 生成一个中频信号和它的共轭信号（希尔伯特变换）作为正交调制器的输入。
- ▶ DAC和调制器形成单边带(SSB)上变频器，抑制其中一个混频边带，从而降低BPF滤波要求

复中频DAC缺陷



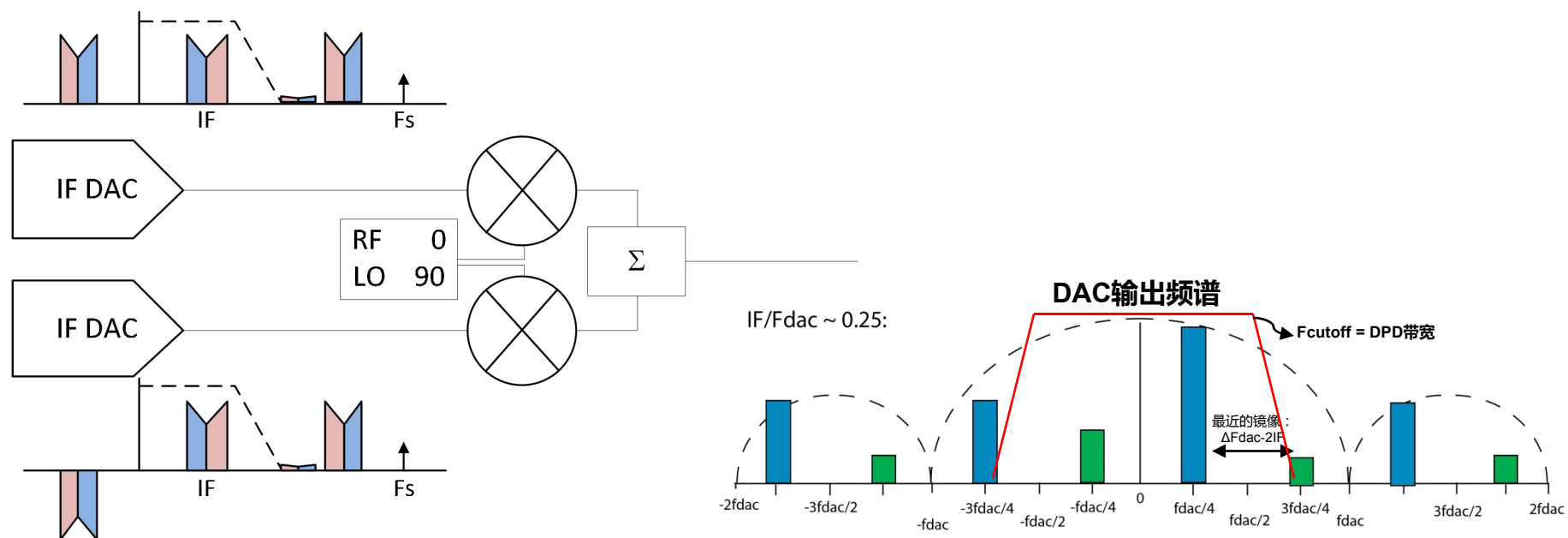
- ▶ 复中频系统产生数个镜像信号：
 - $F_{DAC} - F_{OUT}$ ：主目标信号的镜像
 - 谐波（2次、3次等等），实际或折叠
- ▶ 必须使用低通滤波器滤除这些信号，然后才可输入正交调制器

复中频DAC缺陷（续）



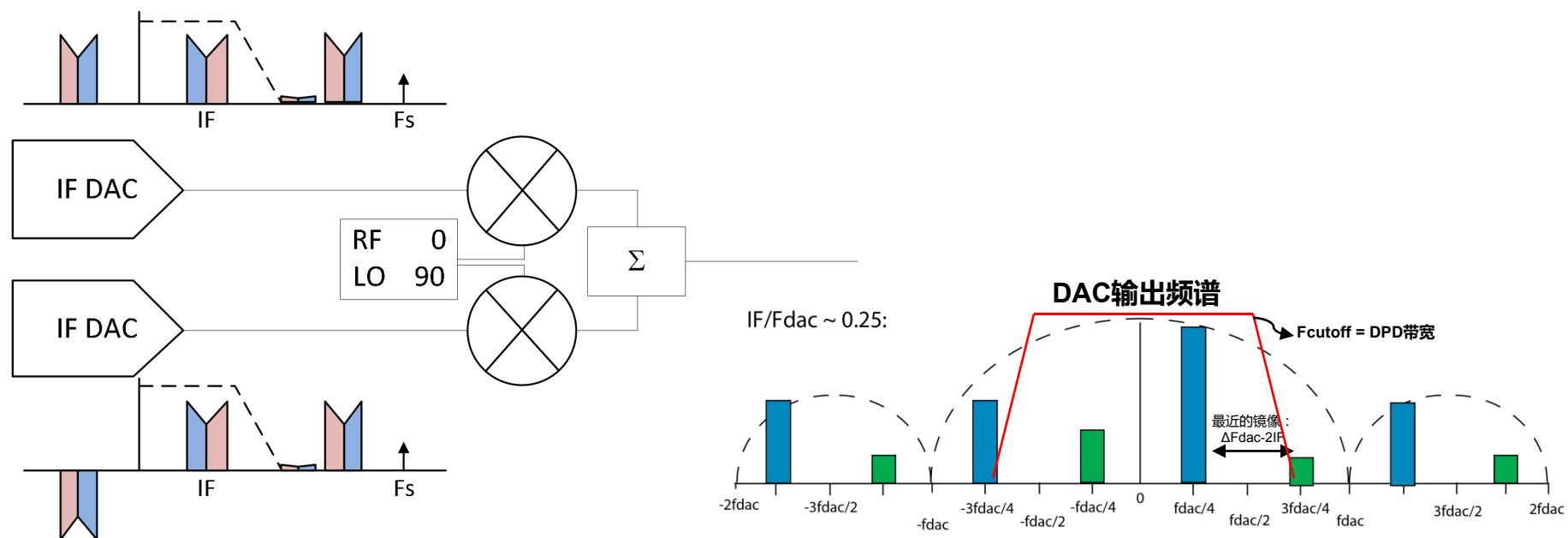
- ▶ 必须仔细规划频率，以免折叠信号过于接近之后要进行上变频的目标信号
- ▶ 在调制器之后使用一个带通低通滤波器滤除无用产物

复中频发射机



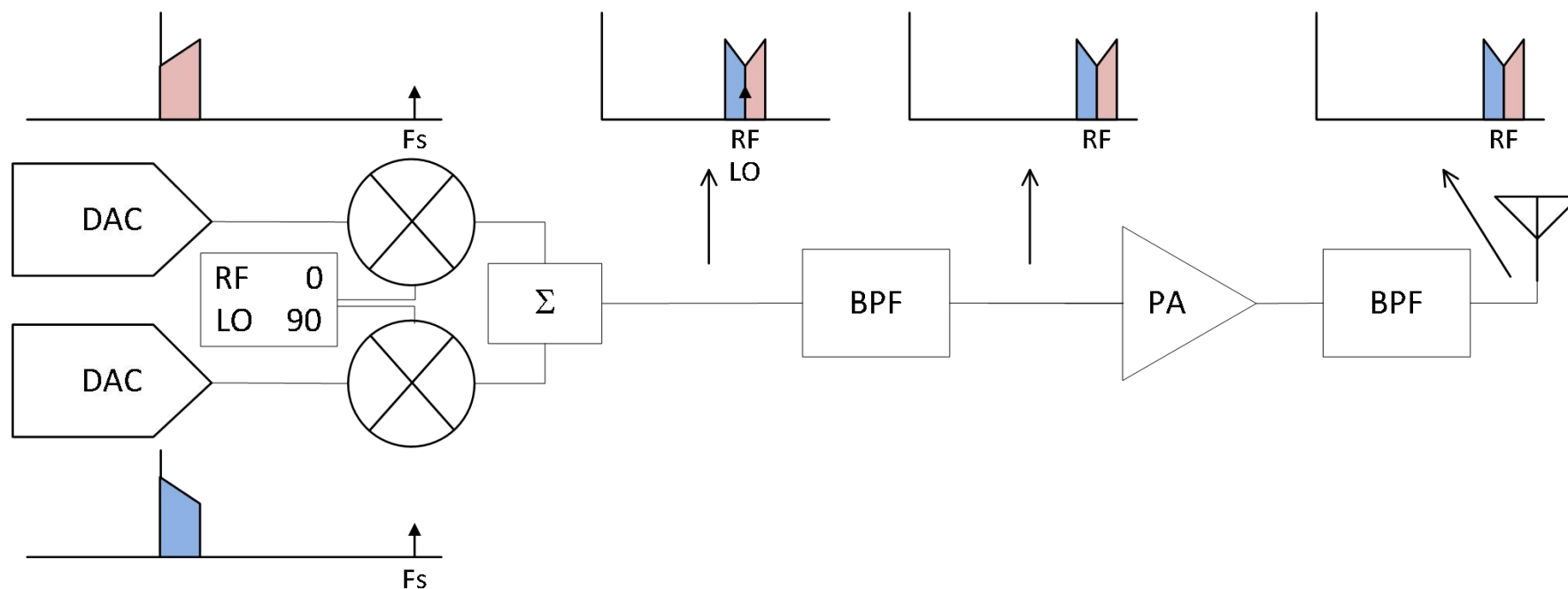
- ▶ DAC镜像更靠近DPD带宽边缘。模拟LPF是很棘手的挑战。
- ▶ 模拟LPF截止频率现在必须大于或等于DPD带宽。
 - 示例：对于500MHz的DPD带宽，LPF截止频率至少必须为500MHz。
 - LPF必须在以IF为中心的 $\pm 250\text{MHz}$ 范围内保持平坦，并且IF必须大于或等于DPD BW/2。

复中频发射机（续）



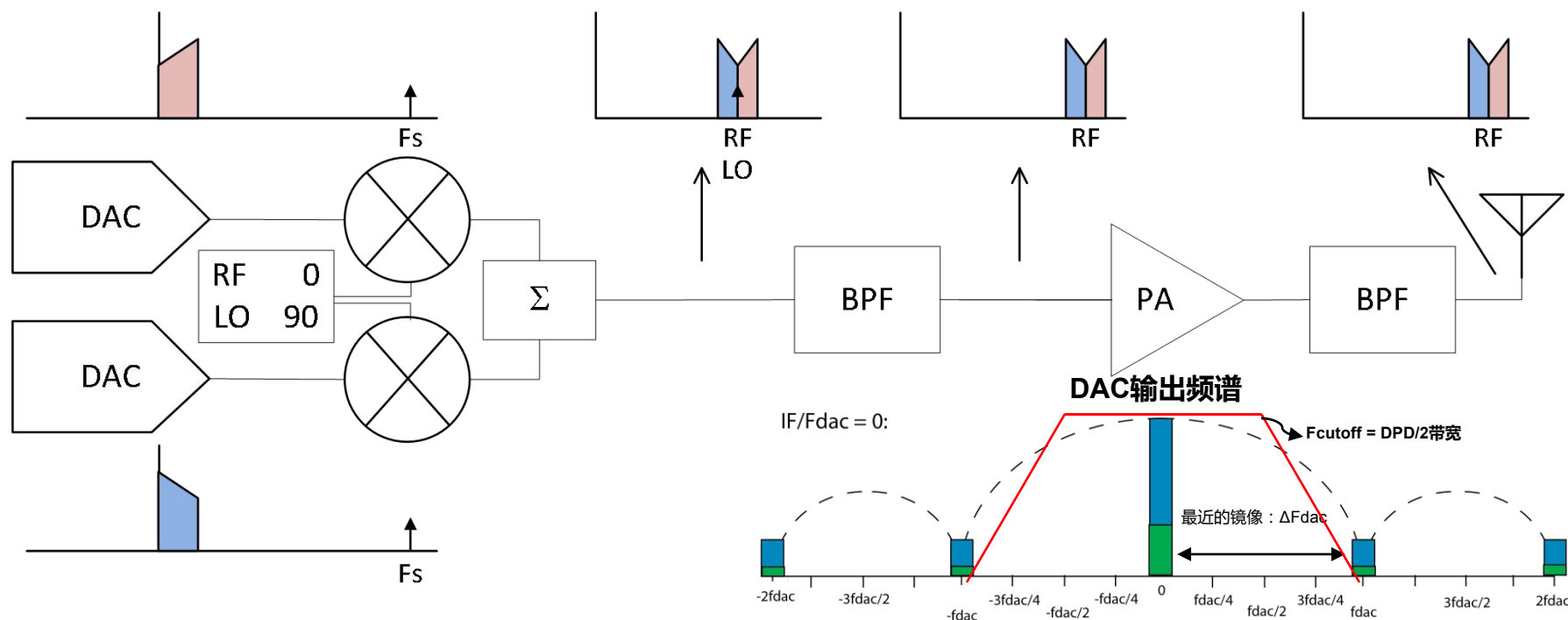
- ▶ DAC和QMOD在整个频率范围内的基带输入线性度指标性能现在是一个重要特性。
- ▶ OIP2在带外
- ▶ QEC变得不重要了。镜像位于 $2 \times IF$ 以外
- 为了保证通带的平坦度，DAC Sinc roff 的包络特性需要进行补偿。

零中频发射机信号处理



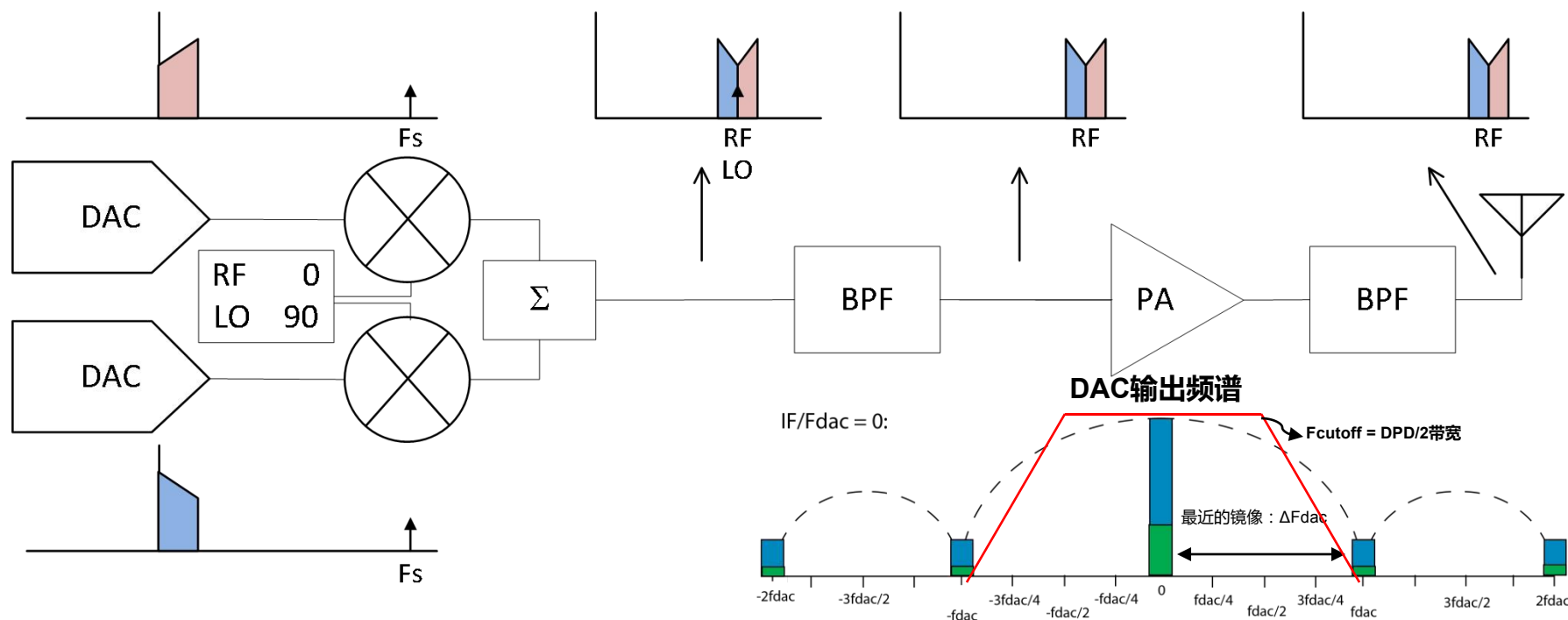
- ▶ 零中频架构利用DAC将基带信号合成为正交调制器的输入
- ▶ 调制器中的正交LO直接将基带信号上变频至RF频率

零中频或直接变频发射机



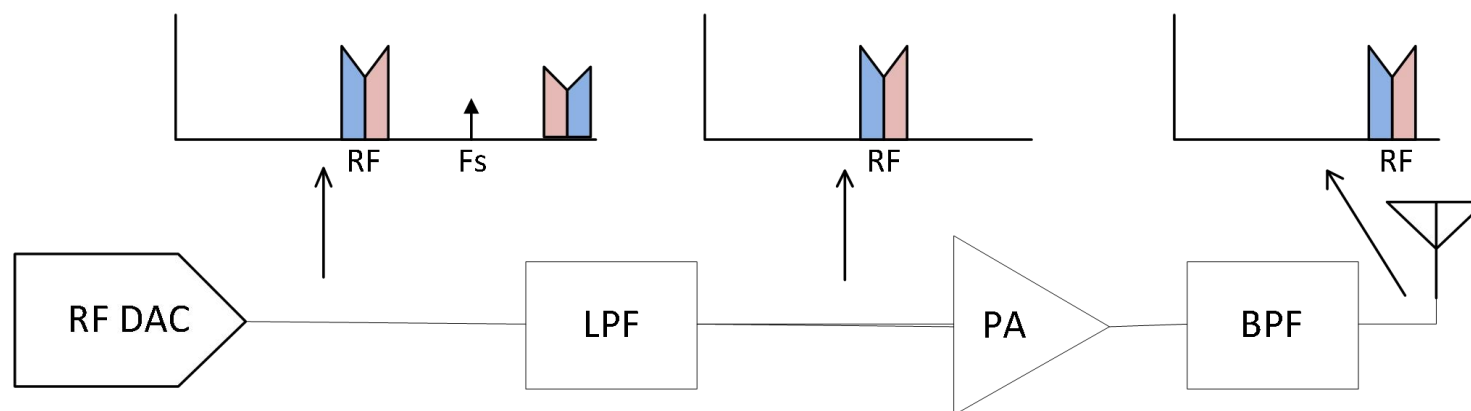
- ▶ DAC镜像落在Sinc响应的零点上空值上 -> 简化模拟LPF 的设计
- ▶ 模拟LPF 3dB带宽必须等于复中频LPF的 $\frac{1}{2}$ 。
 - 例如：如果DPD带宽为500MHz，则LPF需要在 ± 250 MHz的范围内保持平坦

零中频或直接变频发射机（续）



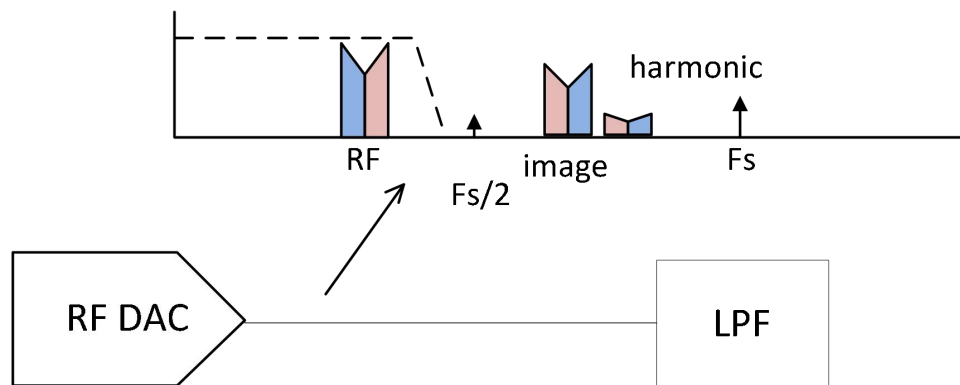
- ▶ DAC性能只需针对低中频进行优化 -> 可以权衡考虑功耗指标与高频性能
- ▶ OIP2和1/f噪声现在是关键的特性。
- ▶ QEC现在很重要。

直接至RF发射机信号处理



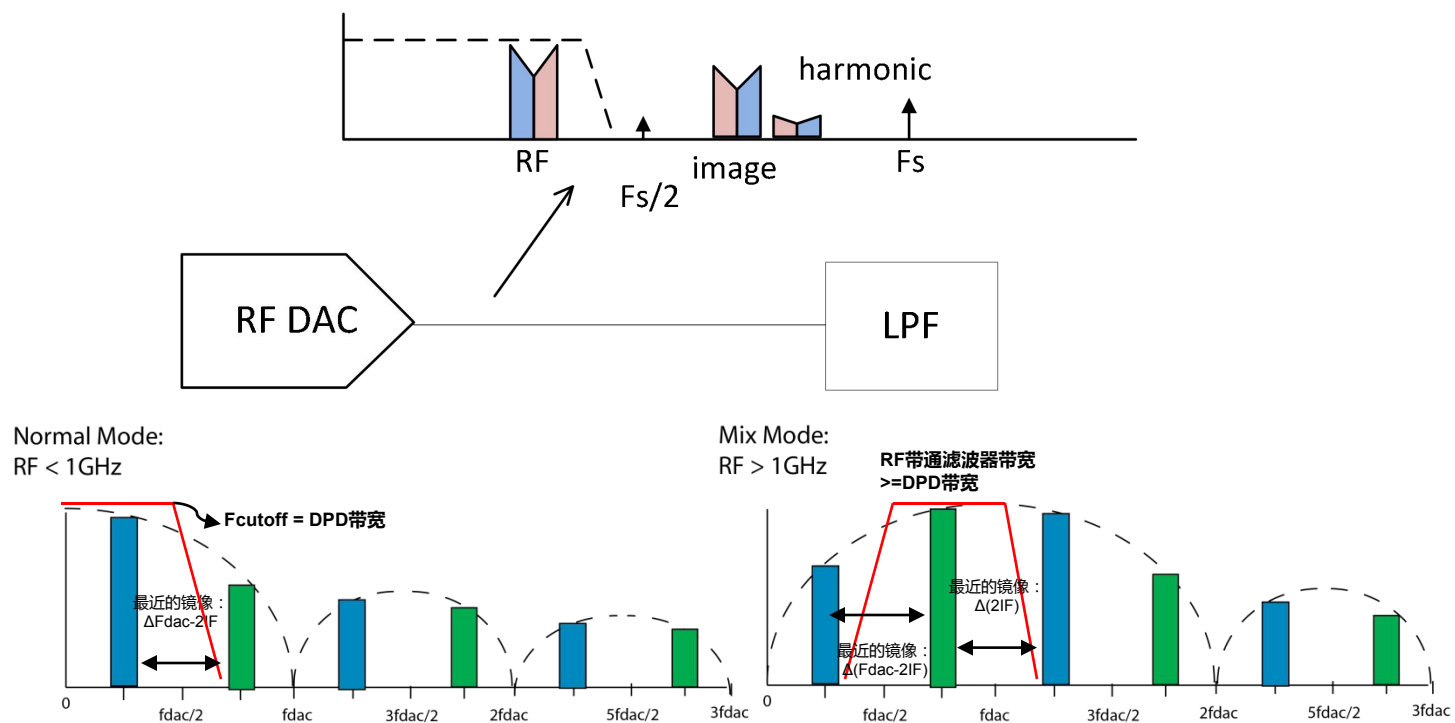
- ▶ 直接RF消除了所有模拟上变频级
 - RF信号直接在所需的输出频率合成
 - 不存在模拟器件的缺陷（LO泄漏、I/Q不平衡、SSB抑制等）
- ▶ RF DAC的输出经过低通滤波，留下所需的RF信号

直接至RF DAC缺陷



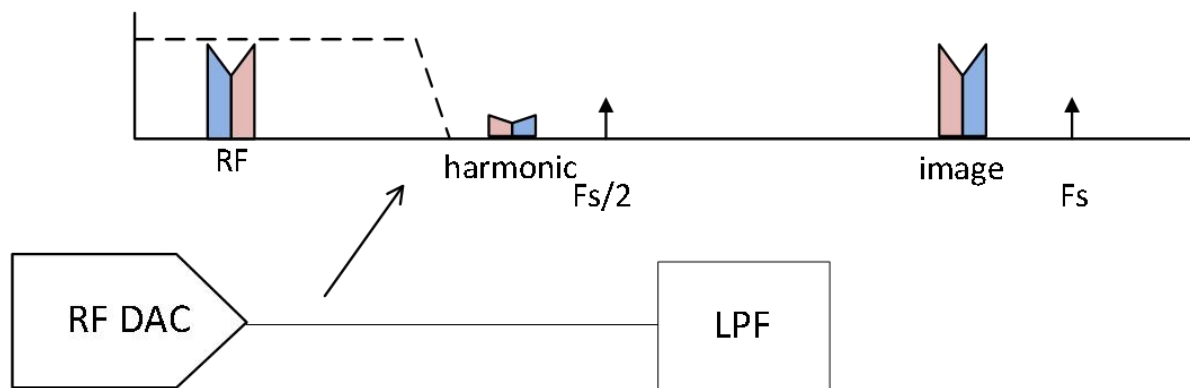
- ▶ RF DAC会产生镜像和谐波，就像BB和IF DAC，而且时钟杂散信号也会出现在输出端
- ▶ 这些可利用低通滤波器进行滤波。
- ▶ 如果RF输出接近 $F_s/2$ ，LPF的截止区可能很陡。
- ▶ 如果镜像或折叠谐波出现在带内，则LPF无法将其滤除，必须使用BPF，或者DAC性能对系统而言必须“足够好”

直接RF发射机



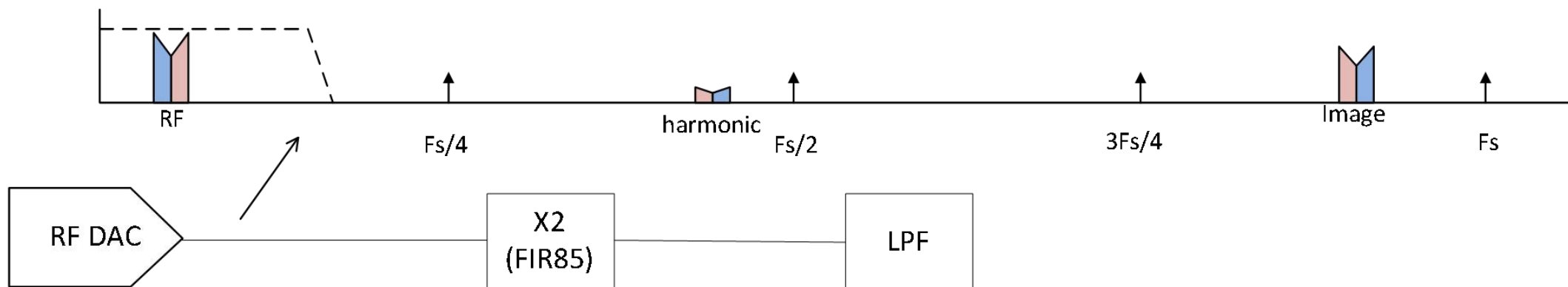
- ▶ 正常/混频/RZ模式的存在和超高DAC速率, 去掉了混频器的需求.

直接RF发射机 - 高Fs



- ▶ 超高DAC速率将DAC镜像推到足够远的地方，相比于实中频，滤波要求得以简化。

直接RF发射机 - 高采用率DAC 使用四通道开关



- ▶ 超高DAC速率将DAC镜像推到足够远的地方，相比于实中频，滤波要求得以简化。
- ▶ 四通道开关DAC内核使上升/下降沿插值器可以将输入时钟速率“加倍”

RF转换器的应用

何处使用RF转换器

▸ 窄带系统

- RF转换器可用在许多过去使用转换器+调制器的地方
- 使用更少的器件更少，简化了信号链的设计。
- 通过提高集成度也可以实现简化，即将转换器与调制器/解调器、LNA、驱动放大器等RF器件集成起来

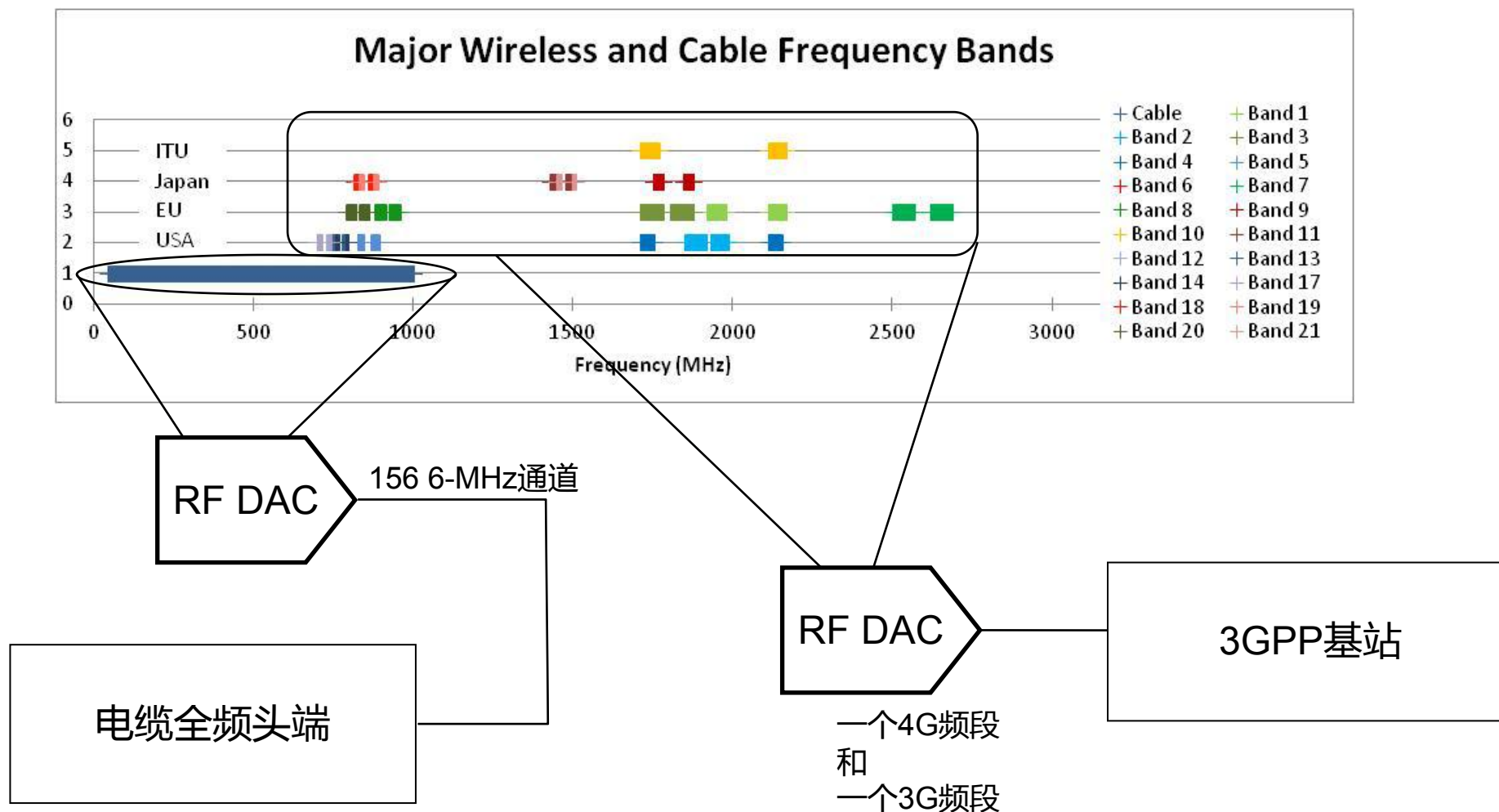
▸ 宽带系统

- 信号带宽，1 GHz、2 GHz或更宽
- 多频无线电（例如无线基础设施，1.8 GHz + 2.6 GHz）
- 传统转换器+调制器无法满足这些系统要求，因为那些器件本身是窄带器件

▸ 多用途或软件可配置系统

- 有些产品要求能够利用同一无线设备电支持窄带和宽带信号
- 有些产品要求能够支持两类不同的无线制式电，例如信号音发生器和宽带无线电

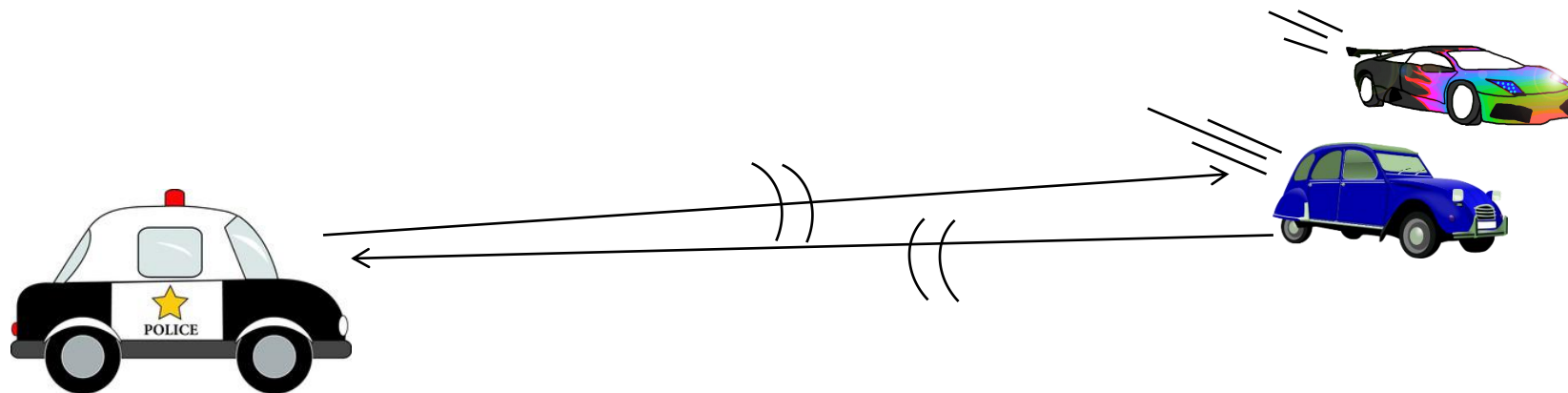
常见无线和电缆基础设施频段



RF转换器的应用

- ▶ 传统通信应用
 - 无线基础设施
 - 有线基础设施
- ▶ 仪器仪表和军用/航空航天
 - 传统信号合成
 - 本振替代
 - 快速跳频
 - FFH类型：相位相干、相位连续、相位不连续
 - 相位相干FFH的重要性
 - 相位噪声
 - 可再配置无线电（例如雷达和安全通信链路）

相位相干快速跳频



► 为何需要相位相干跳频？

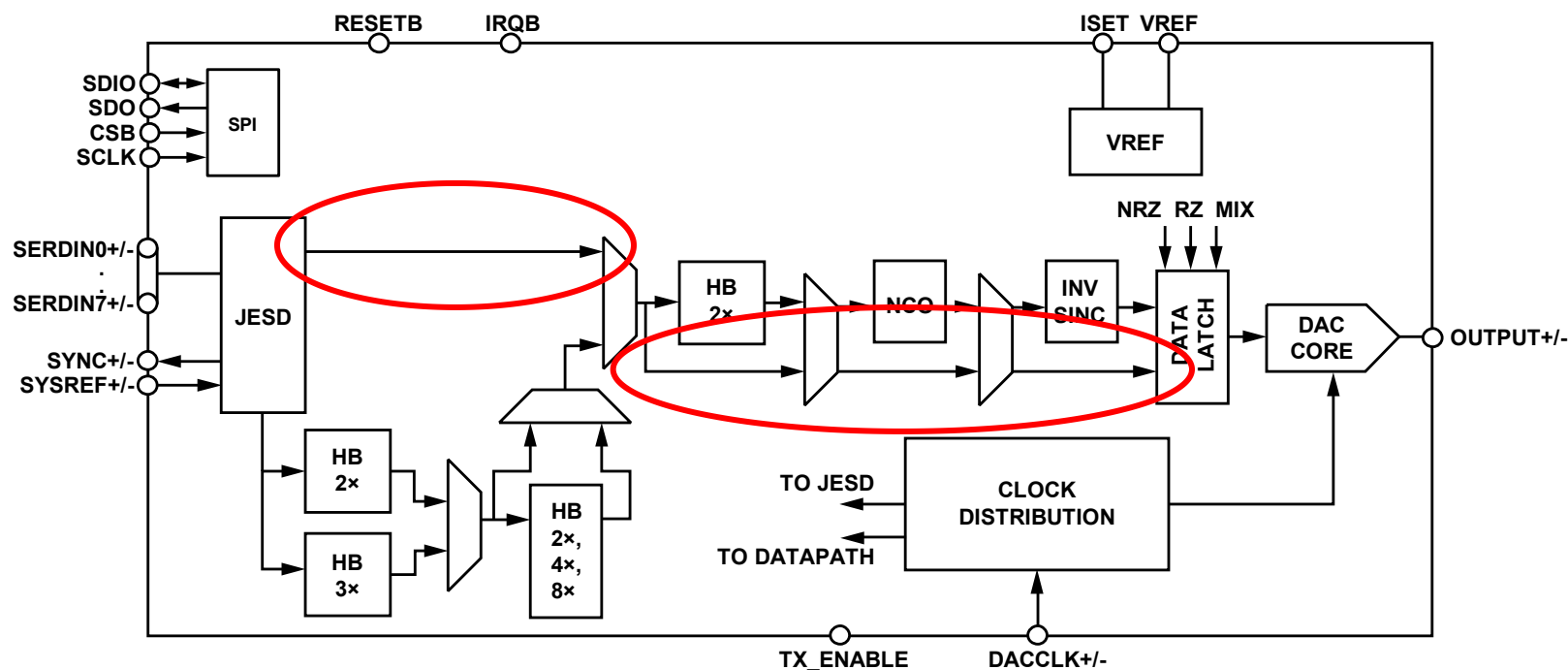
- 相位相干意味着任何FTW的 f_{OUT} 与参考（这种情况下是DACCLK）之间存在确定的相位关系
- 利用发射频率与接收机之间的确定关系，雷达接收机可以检测目标对象相对于背景杂波和目标运动所引起的多普勒频移
- 相位相干支持
 - 更精确检测更小的多普勒偏移
 - 频率捷变雷达
 - 脉冲压缩和调制雷达

相位相干快速跳频（续）

- ▶ 相位相干快速跳频
 - AD9164通过运用32个相位累加器实现相位相干，一个累加器对应一个32位FTW（共有32个）
 - 当使能相位相干模式时($0x800[7:6] = 0b10$)，所有已使能NCO相位累加器均复位并一同开始计数。
 - 现在可以选择任何FTW，当回到前一FTW时，好像没有发生切换 — “相位记忆”
- ▶ 快速跳频对测试测量很重要
 - 更快的开关速度可缩短ATE测试时间
 - 相位相干对无线基础设施的MIMO系统、有源天线阵等的测试很重要
- ▶ TX_ENABLE引脚可设置用来复位NCO相位累加器

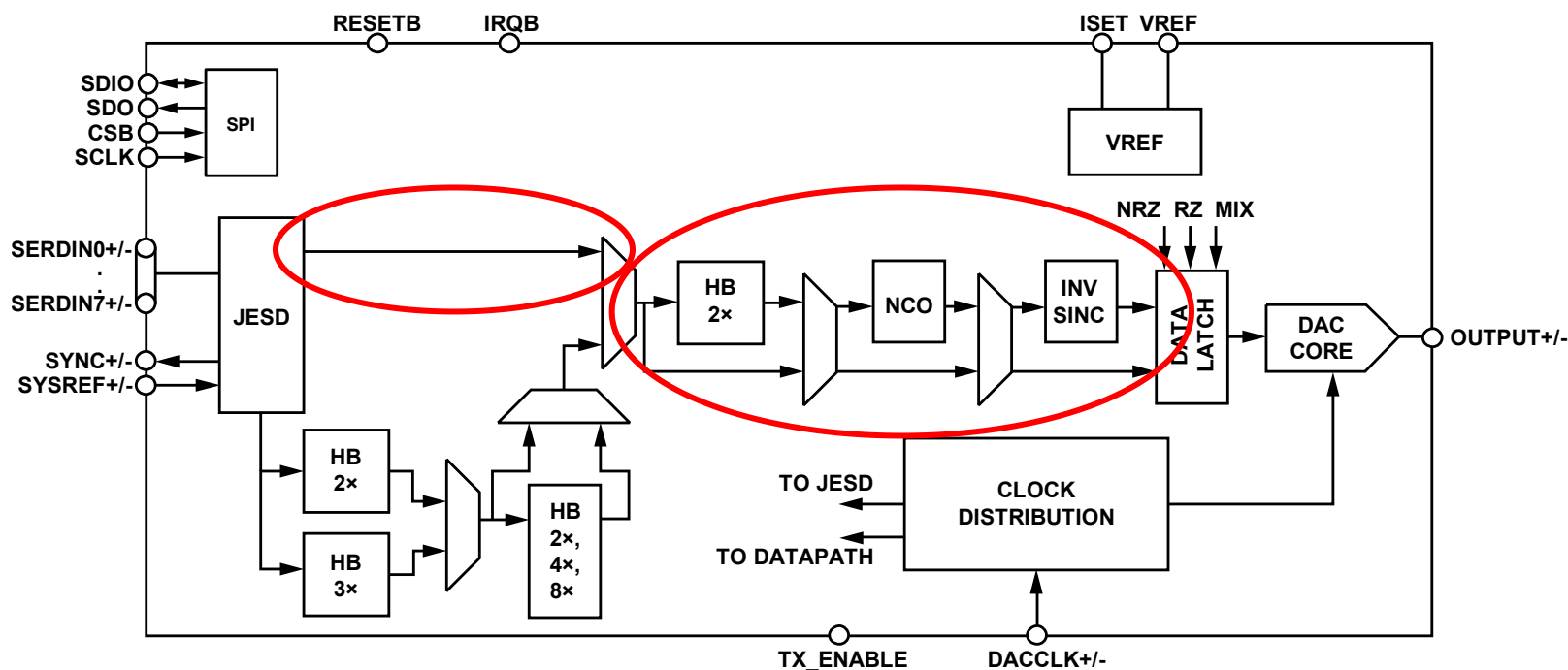
RF DAC示例

RF DAC示例：AD9162和AD9164



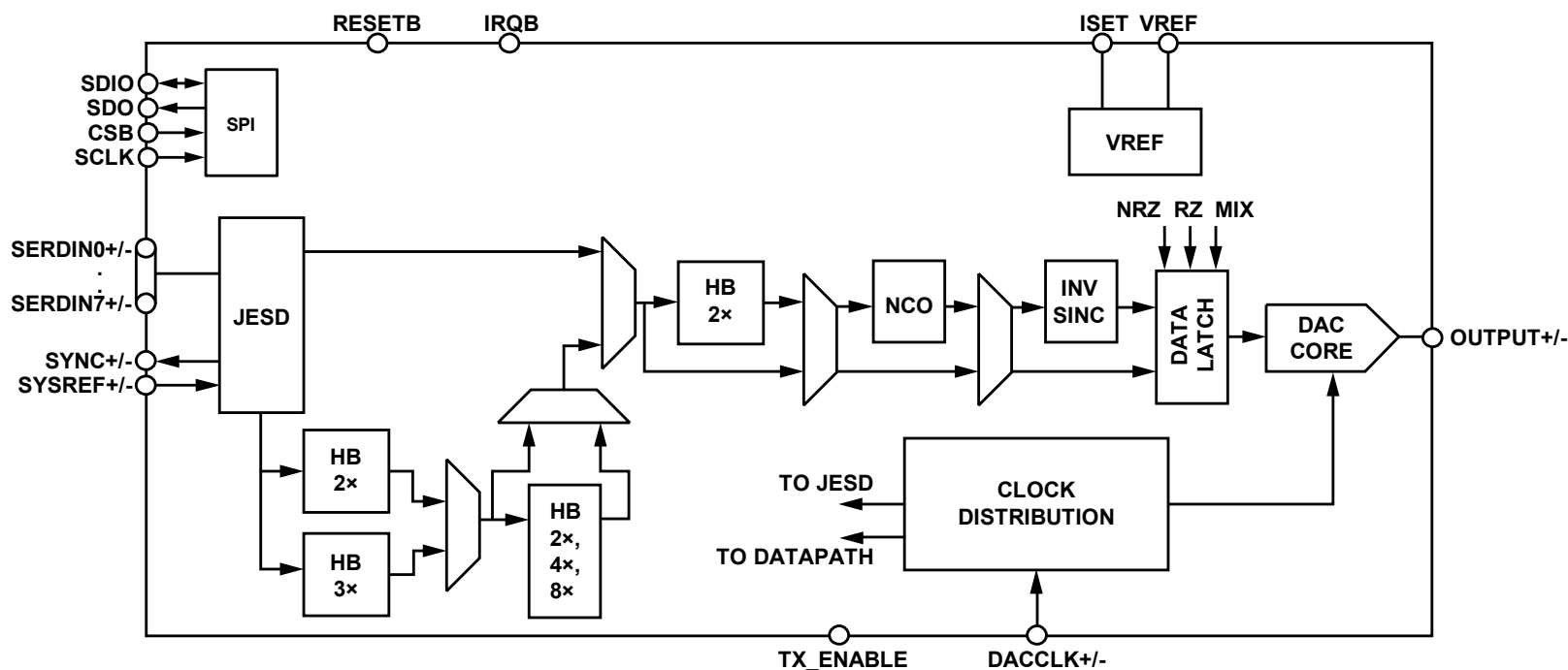
- ▶ DAC可用作传统实数域RF DAC
所有信号处理可以被旁路掉。

RF DAC示例：AD9162和AD9164（续）



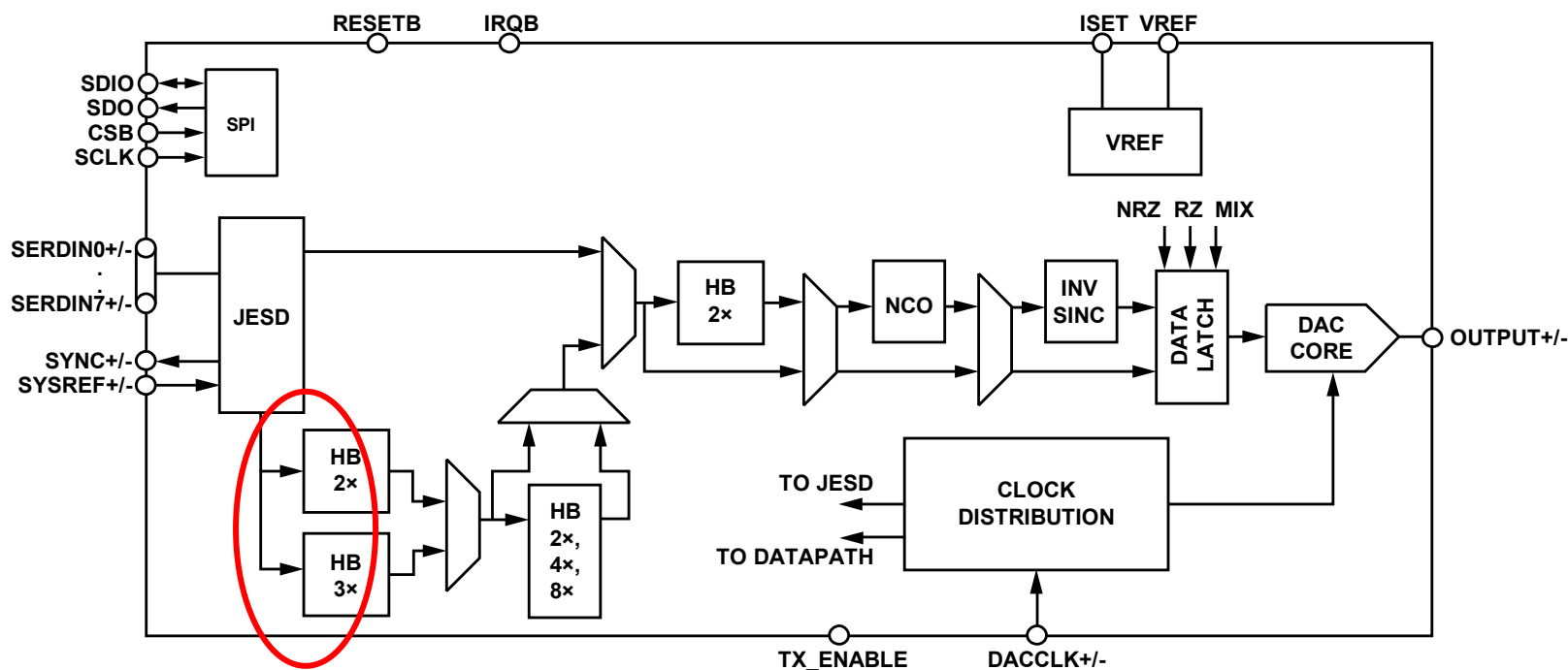
- ▶ DAC可用作传统实数域RF DAC
 - 可以旁路所有信号处理
 - 或者可以选择最后以DACCLK运行的各个模块

RF DAC示例：AD9162和AD9164（续）



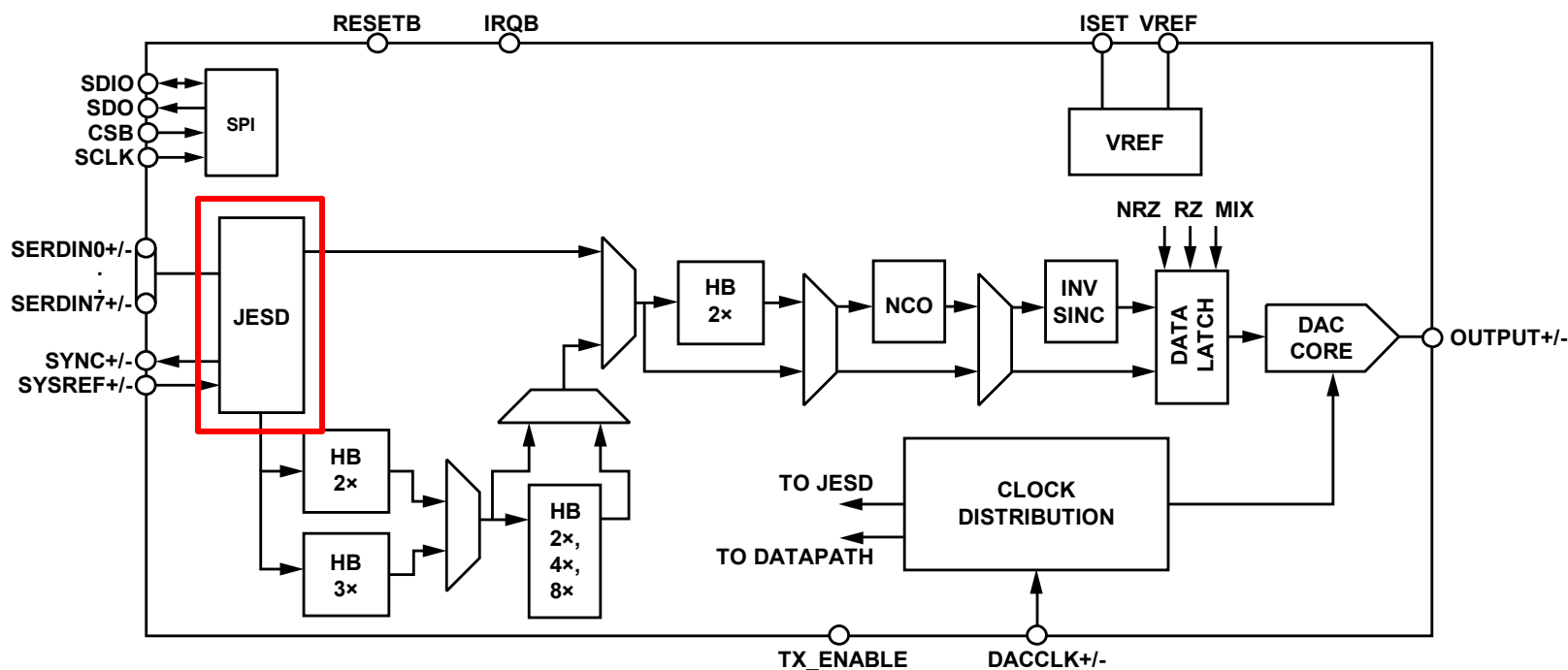
- ▶ DAC可用作传统实数域RF DAC
 - 可以旁路所有信号处理
 - 或者可以选择最后以DACCLK运行的各个模块
- ▶ 信号路径将是实数域信号路径
 - NRZ模式下，信号带宽可以使用完整奈奎斯特区，2xNRZ模式下，信号带宽可以使用45%

RF DAC示例：AD9162和AD9164（续）



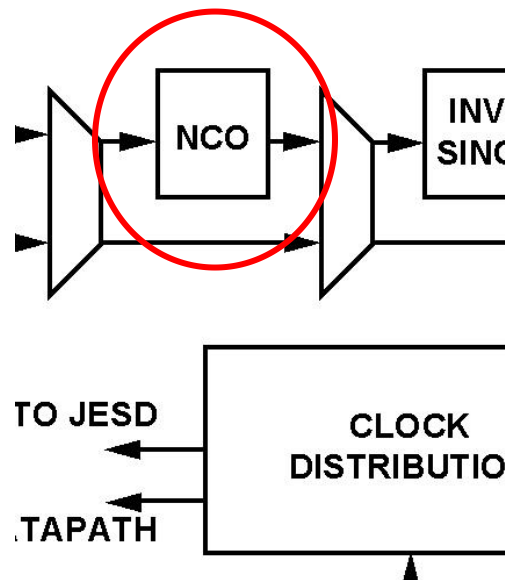
- ▶ 复数数据接口 – 插值DAC模式
 - 用于所有插值模式，包括FIR85 (2xNRZ mode)
 - 像采用I和Q DAC的传统IF DAC一样对待数据
 - 通常配合NCO使用以将信号频率移动到想要的 f_{out}

数据接口 – JESD204B



- ▶ 数据接口为JESD204B协议、8通道、12.5 GBPS
 - 与本培训介绍的IF DAC相比，这是一个升级的接收机内核
 - 相比于之前的内核，JESD接口的配置更简单
- ▶ JESD内核具有完整的功能特性，例如通道切换开关、支持子类0和1、可选通道数等

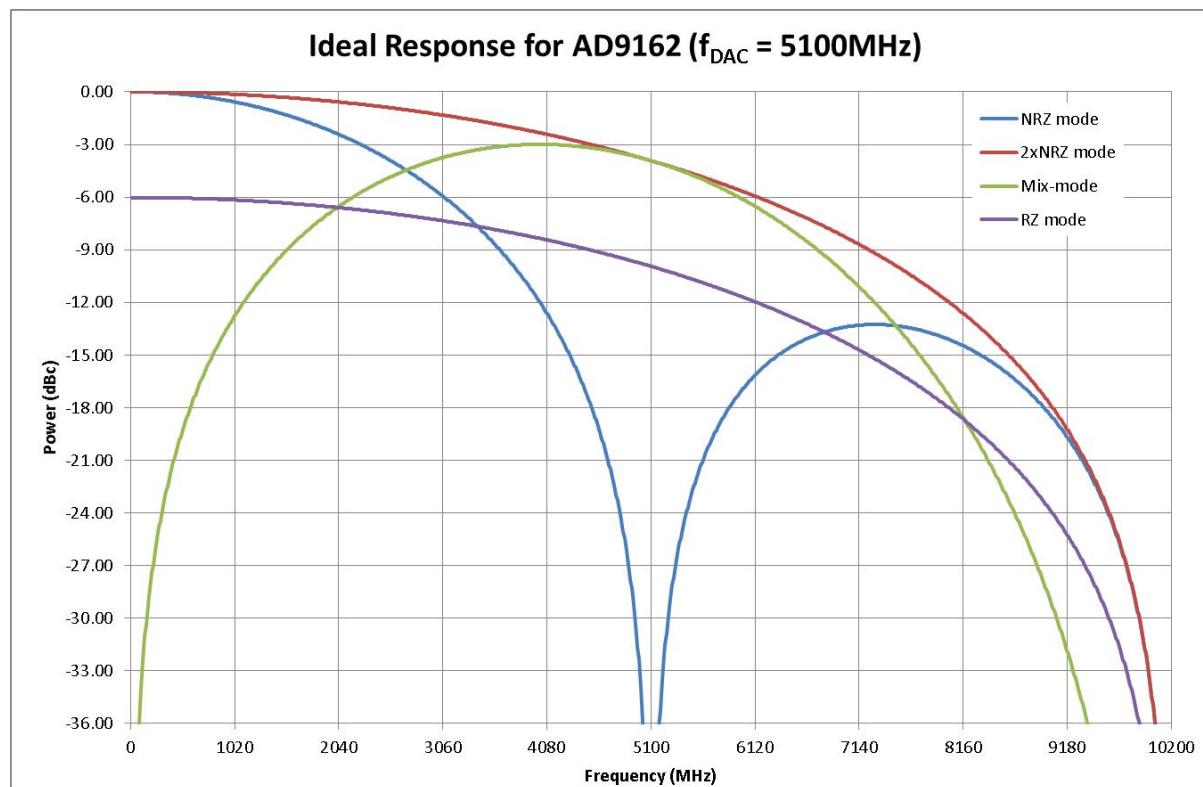
快速跳频NCO (AD9164)



- ▶ 快速跳频(FFH) NCO支持多种关键的跳变功能
 - 预载最多32个频率调谐字(FTW)
 - 通过单次SPI写操作选择FTW
 - 相位相干跳频
- ▶ FFH NCO仅在AD9164 DAC + DDS上提供

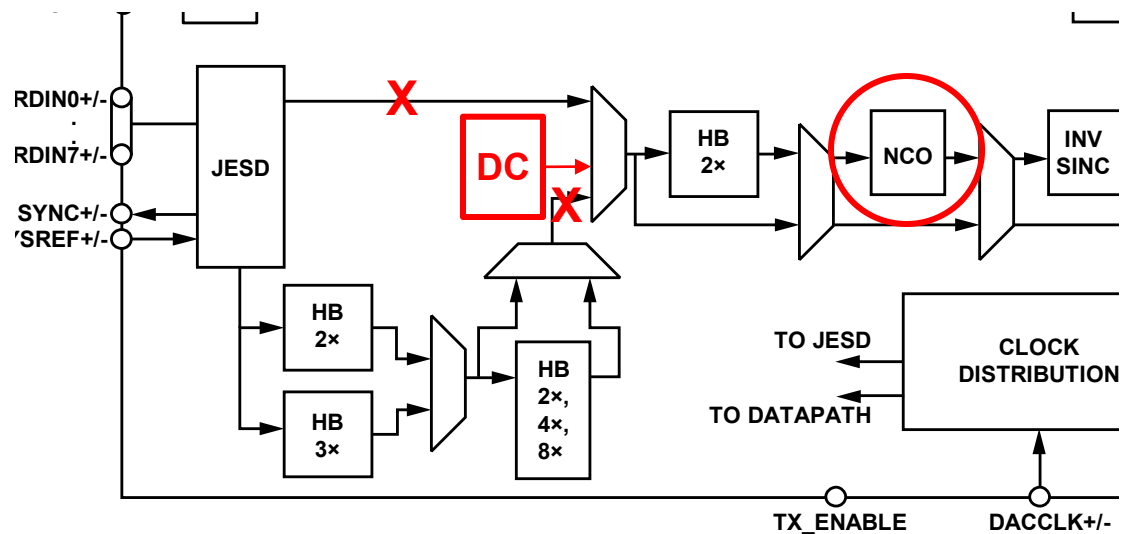
使用场景

定义奈奎斯特区和工作模式

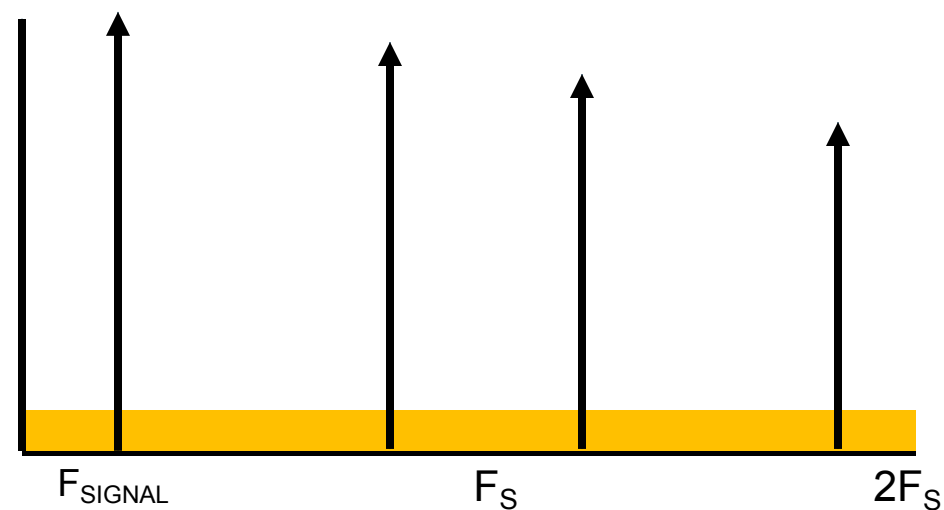


- ▶ 四通道开关模式包括
 - 混合模式 – 上升沿采样数据，下降沿采样负数据 取反 (DACCLK为LO)
 - 2xNRZ模式 – 上升沿采样数据，下降沿采样滤波数据 (来自FIR85)
 - RZ模式 – 上升沿采样数据，下降沿采样零数据

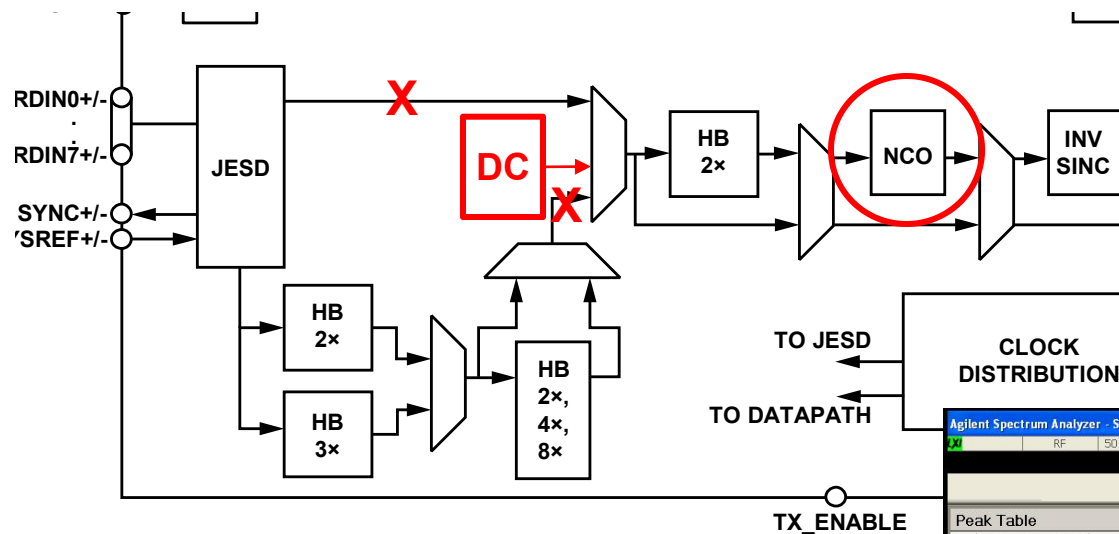
示例1：创建一个400 MHz信号音



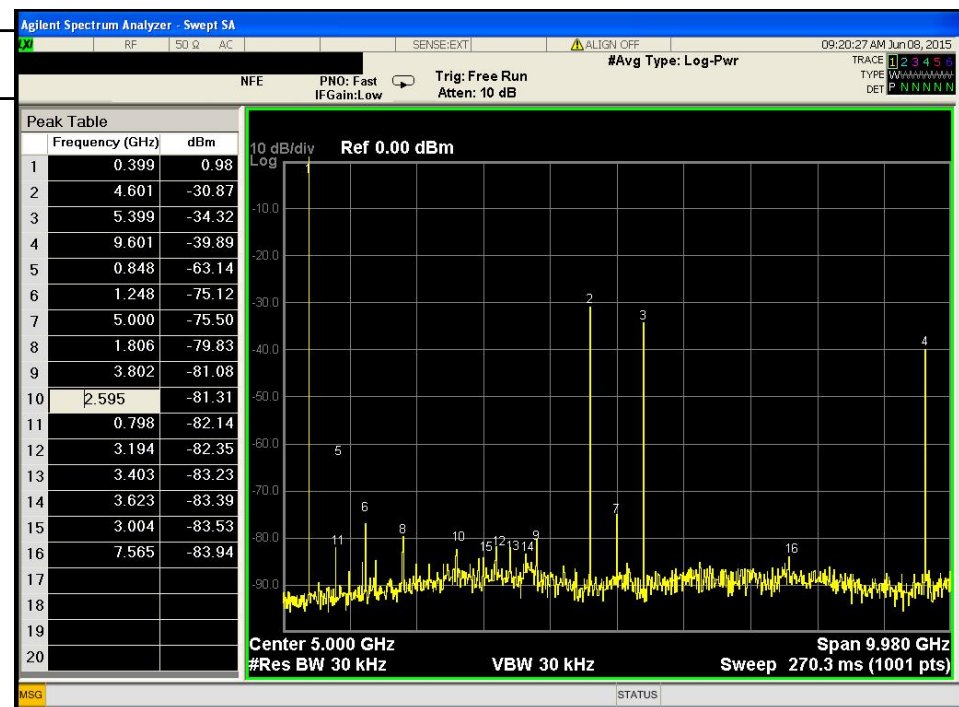
- ▶ 多种实现方式
- ▶ NCO模式
 - 功耗最低
 - 镜像位于 $F_s - F_{out}$



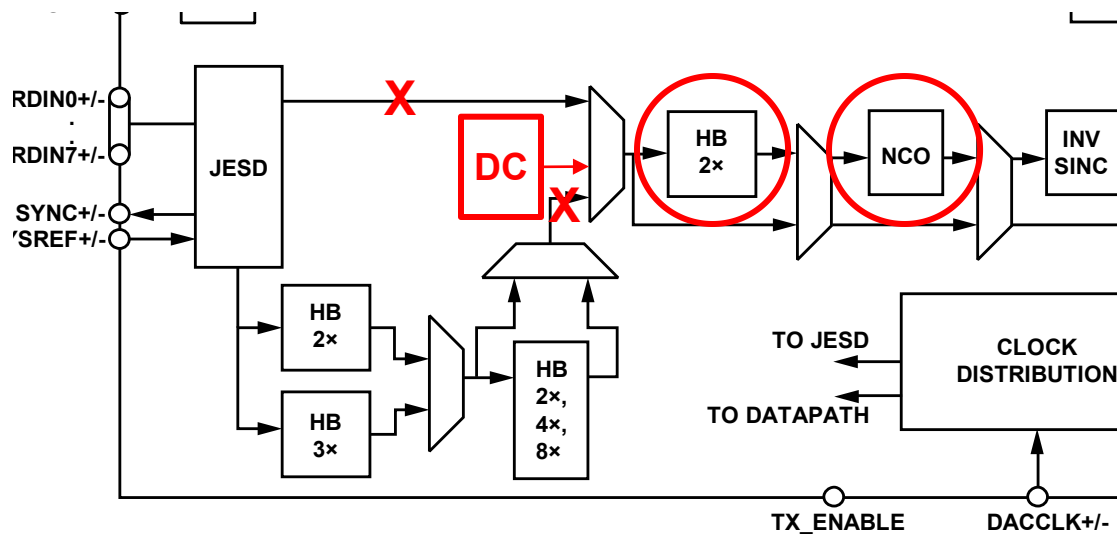
示例1：创建一个400 MHz信号音（续）



- ▶ 多种实现方式
- ▶ NCO模式
 - 功耗最低
 - 镜像位于 $F_s - F_{out}$

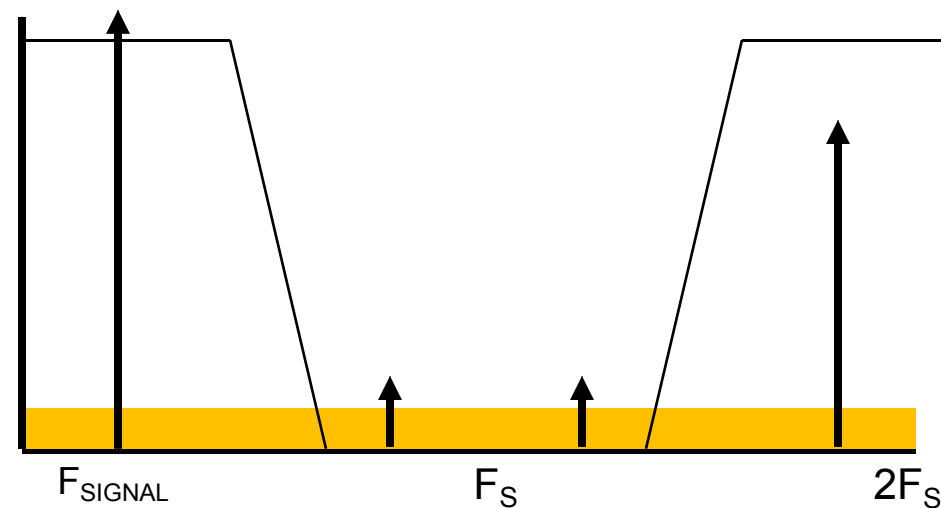


示例1：创建一个400 MHz信号音（续）

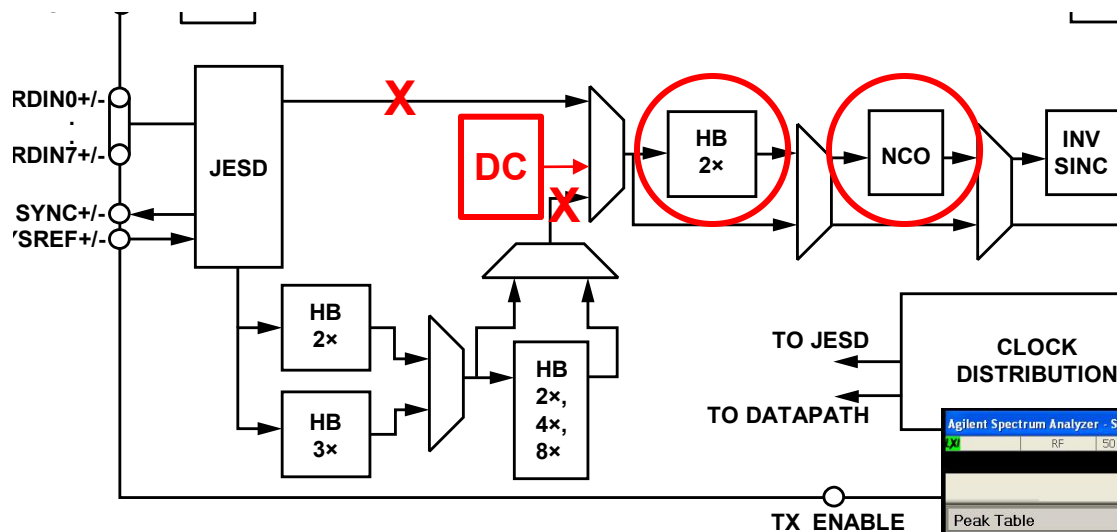


► NCO模式 + 2xNRZ (FIR85)

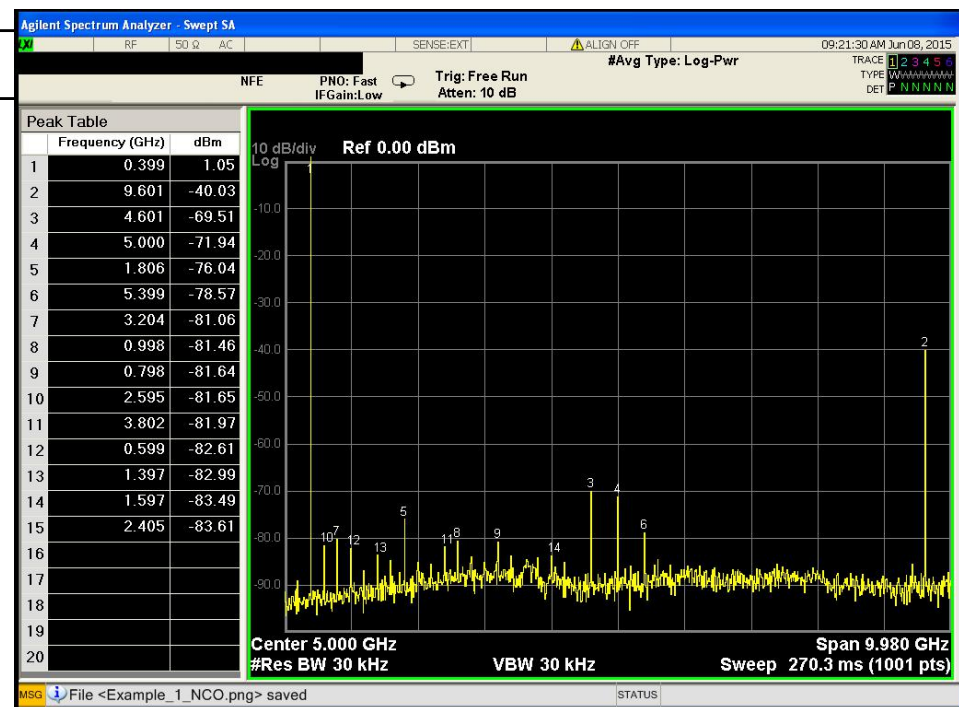
- FIR85会增加功耗
- 镜像位于 $2 \cdot F_s - F_{out}$
- FIR85滤波器抑制二次和三次奈奎斯特镜像



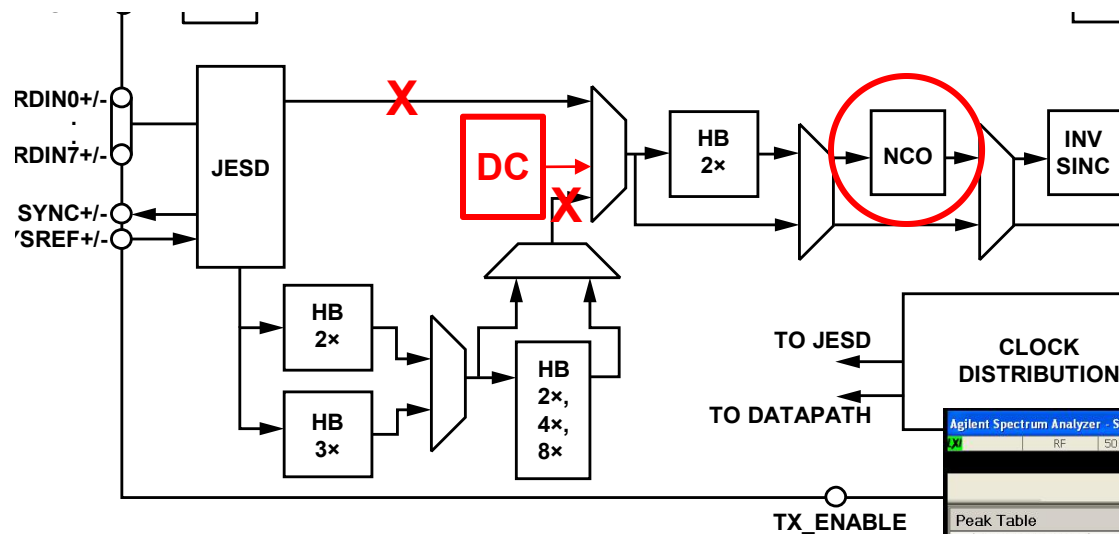
示例1：创建一个400 MHz信号音（续）



- ▶ NCO模式 + 2xNRZ (FIR85)
 - FIR85会增加功耗
 - 镜像位于 $2 \cdot F_s - F_{out}$
 - FIR85滤波器抑制二次和三次奈奎斯特镜像

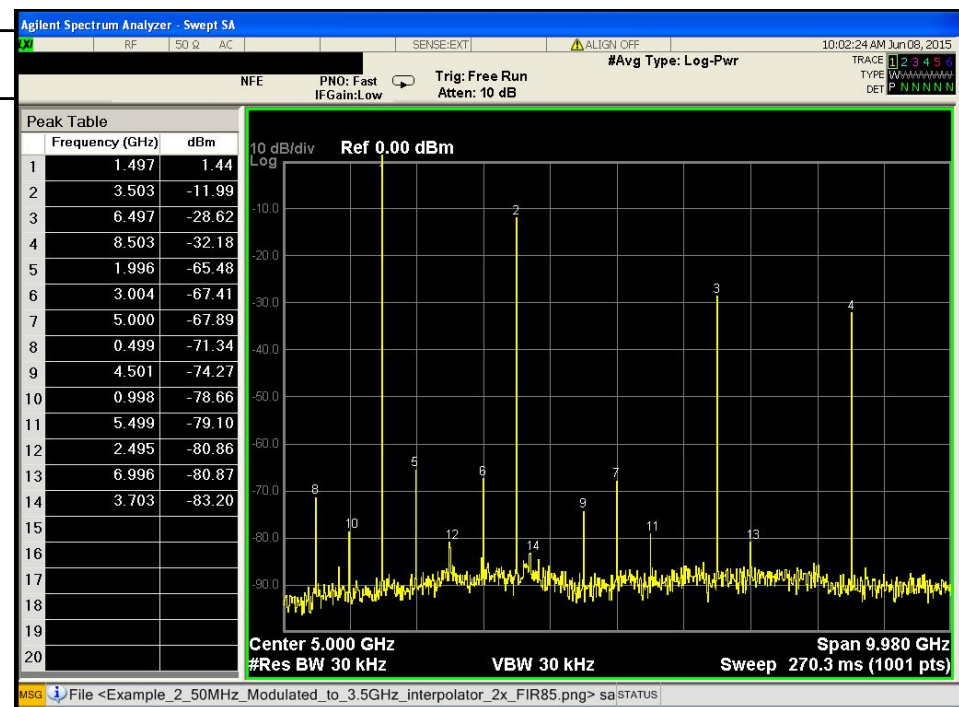


示例2：创建一个3.5 GHz信号音

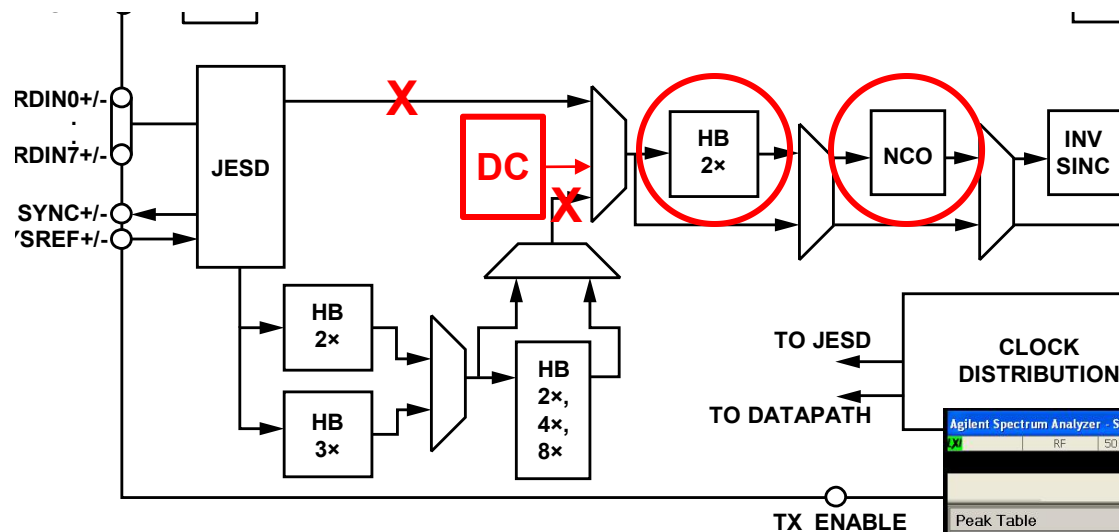


► NCO模式

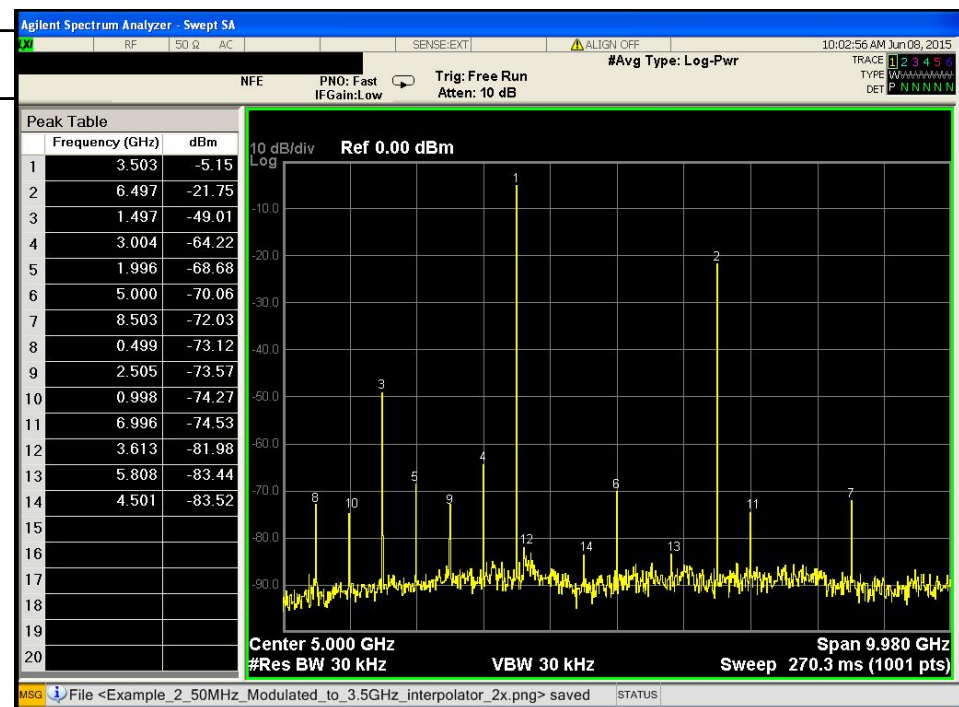
- 3.5 GHz高于第一奈奎斯特区
- 位于 $F_s/2 - F_{out}$ 的镜像高于期望
- => 错误模式



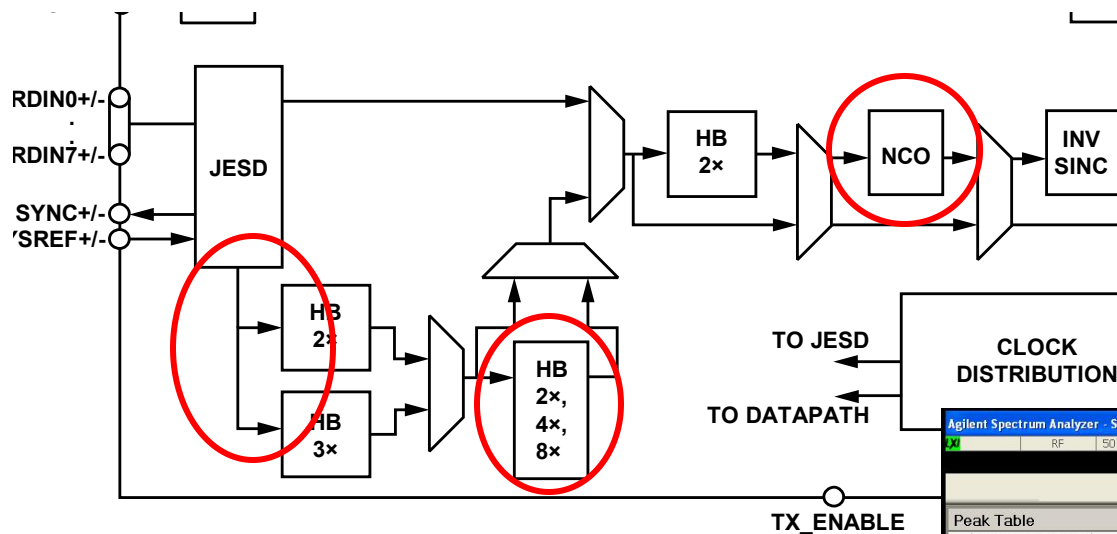
示例2：创建一个3.5 GHz信号音（续）



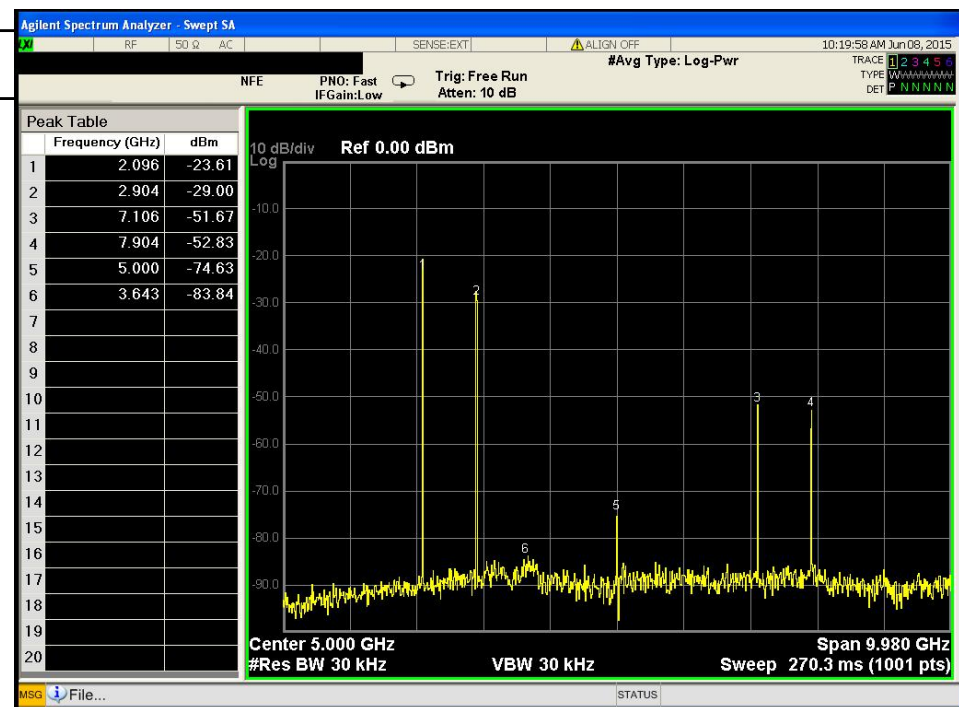
- ▶ NCO模式 + 2xNRZ (FIR85)
 - 3.5 GHz现在位于第一奈奎斯特区(5 GHz)
 - 位于 $F_{DAC}/2 - F_{out}$ 的模拟镜像高于期望（输出级或DACCLK的平衡）
 - $2 \cdot F_{DAC} - F_{out}$ 的镜像可见



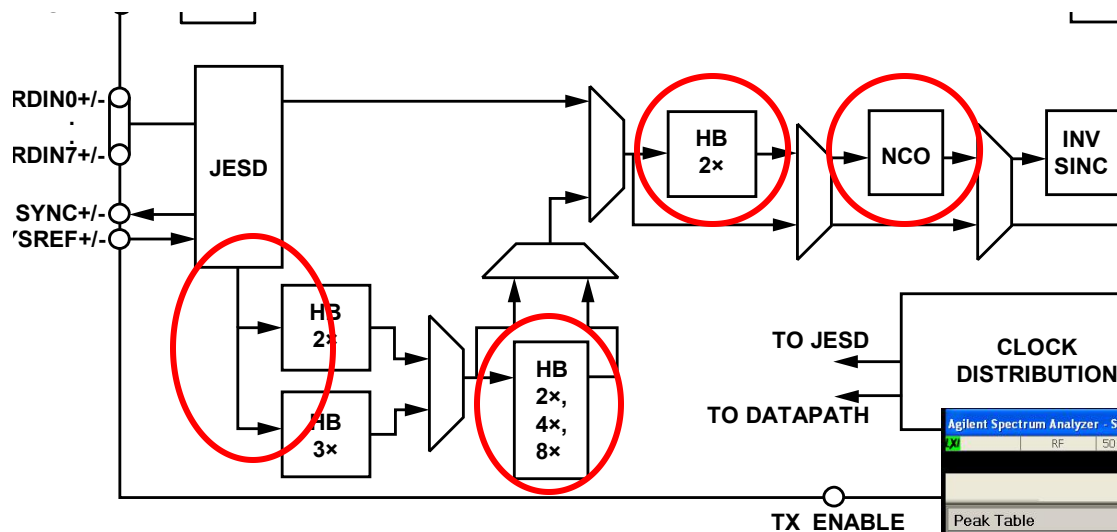
示例3：创建一个2.1 GHz WCDMA信号



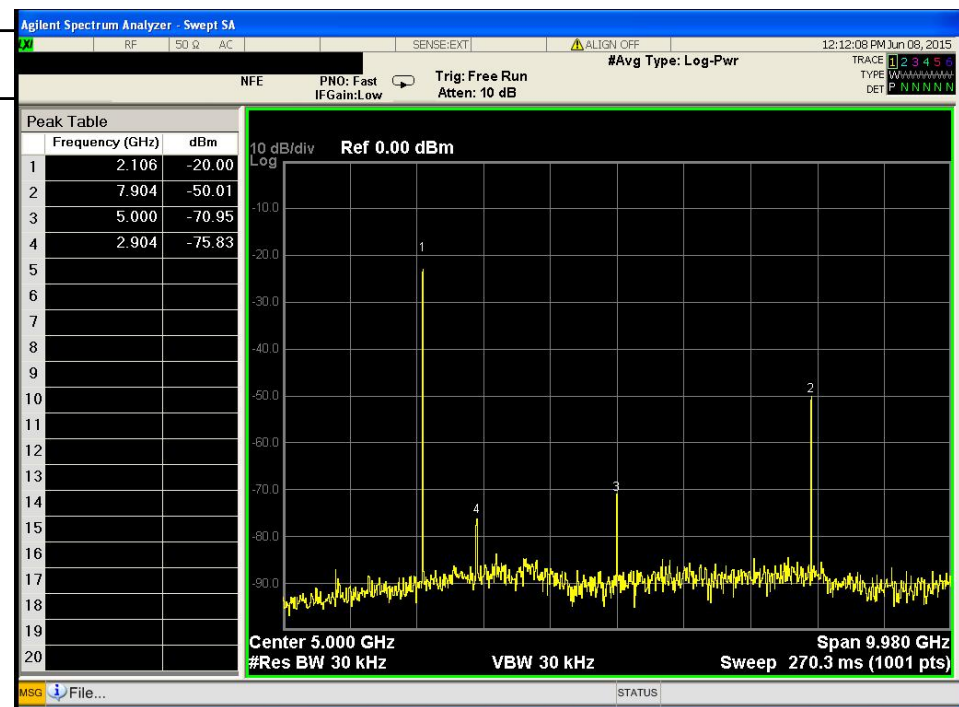
- ▶ 复数I/Q + 插值器，NCO
- ▶ 合成于50 MHz，插值再利用NCO进行频率搬移
 - 信号为宽带(5 MHz)信号，故无离散单音信号音可见
 - 第二奈奎斯特区中的镜像可见且很高



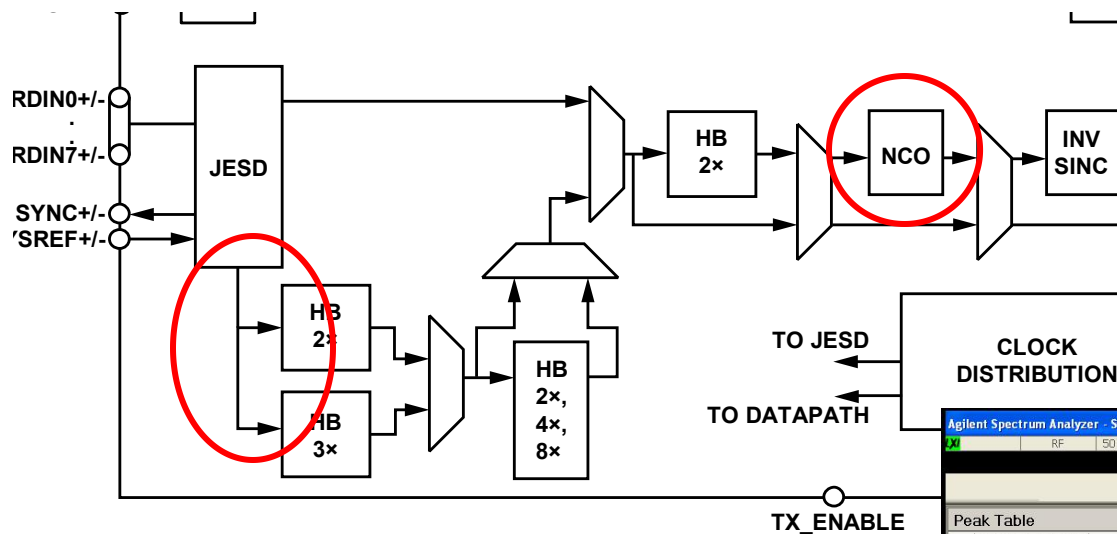
示例3：创建一个2.1 GHz WCDMA信号（续）



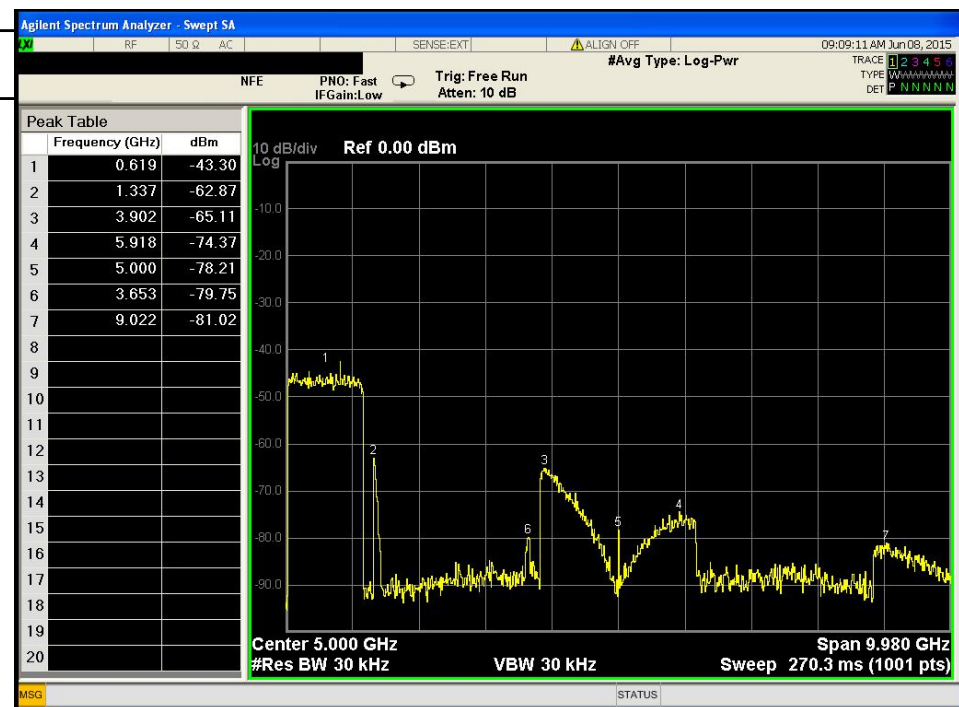
- ▶ 复数I/Q + 插值器, NCO + 2xNRZ (FIR85)
- ▶ 信号合成于50 MHz, 插值和 NCO 频率搬移, 使用FIR85
 - 降低第二、第三奈奎斯特区镜像
 - FIR85使 $\sin x/x$ 滚降变为 $2 \times \text{DACCLK}$, 故基波比输出功率高了3 dB



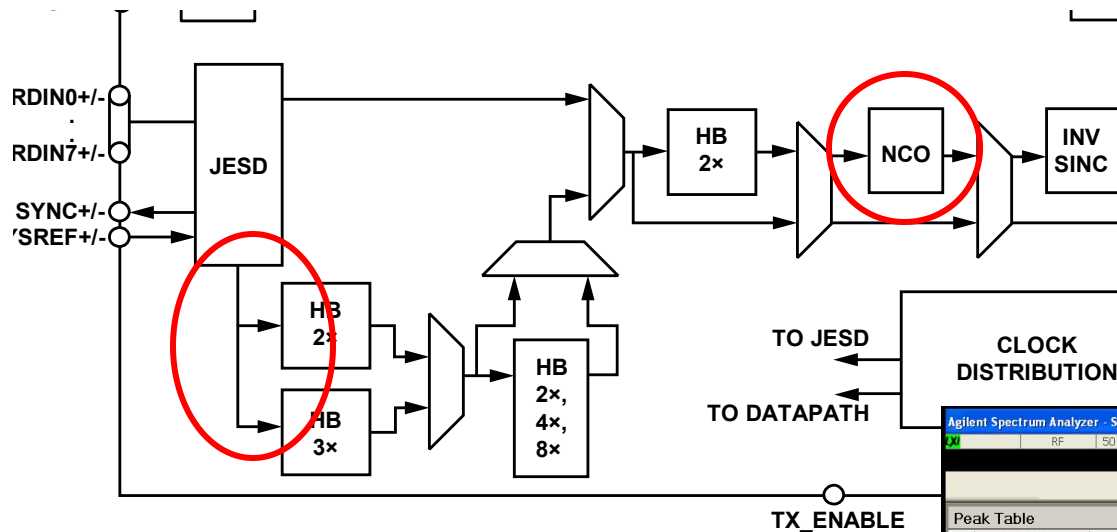
示例4：创建192 6-MHz 256-QAM电缆信号



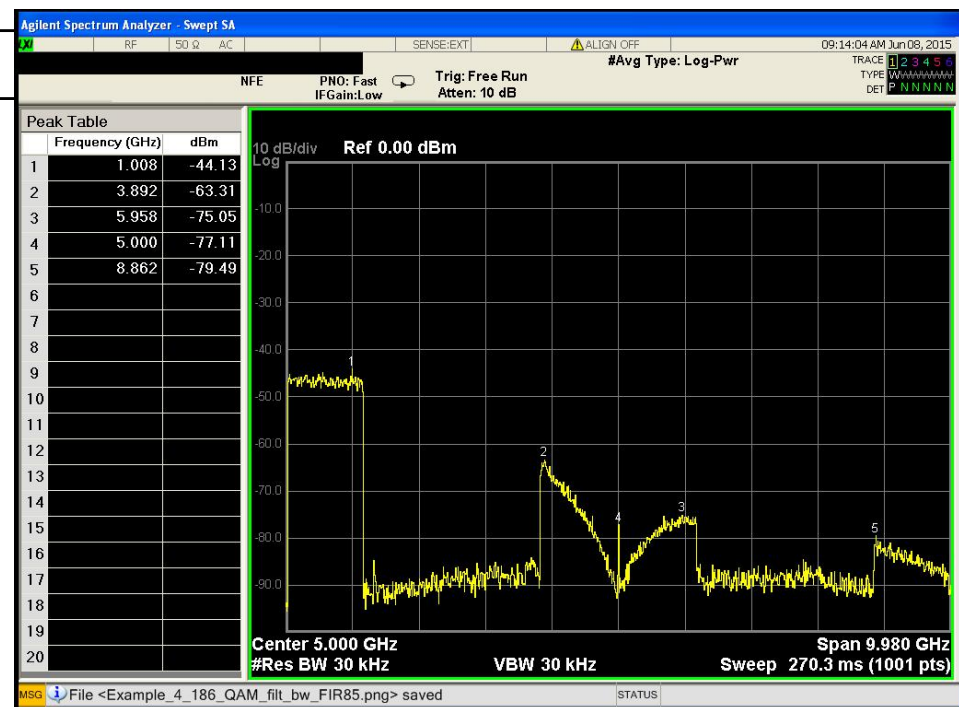
- ▶ 复数I/Q + 插值器，NCO
- ▶ 合成于基带，插值和利用NCO搬移。插值和移位
 - 信号通过80%带宽滤波器流失，镜像清晰可见



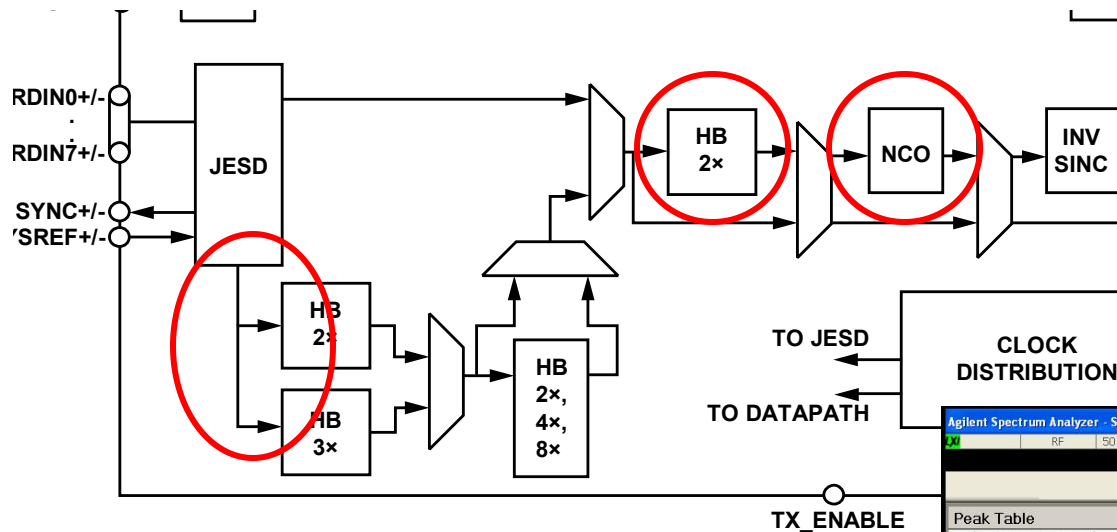
示例4：创建192 6-MHz 256-QAM电缆信号



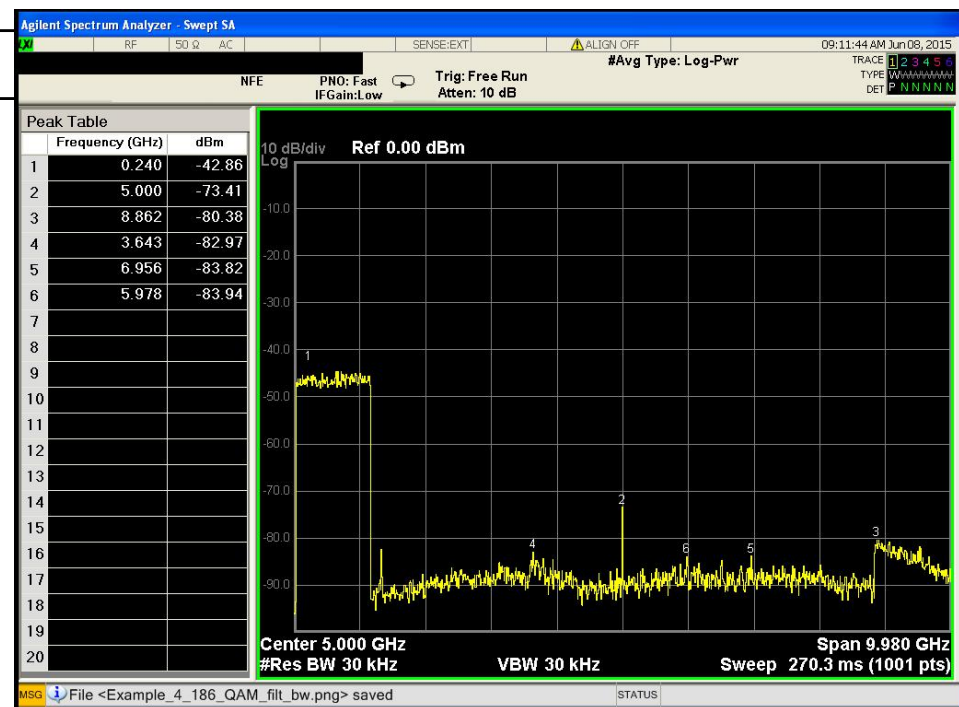
- ▶ 复数I/Q + 插值器，NCO
- ▶ 合成于基带，插值和利用NCO搬移。插值和移位
 - 90%滤波器有帮助
 - 镜像清晰可见



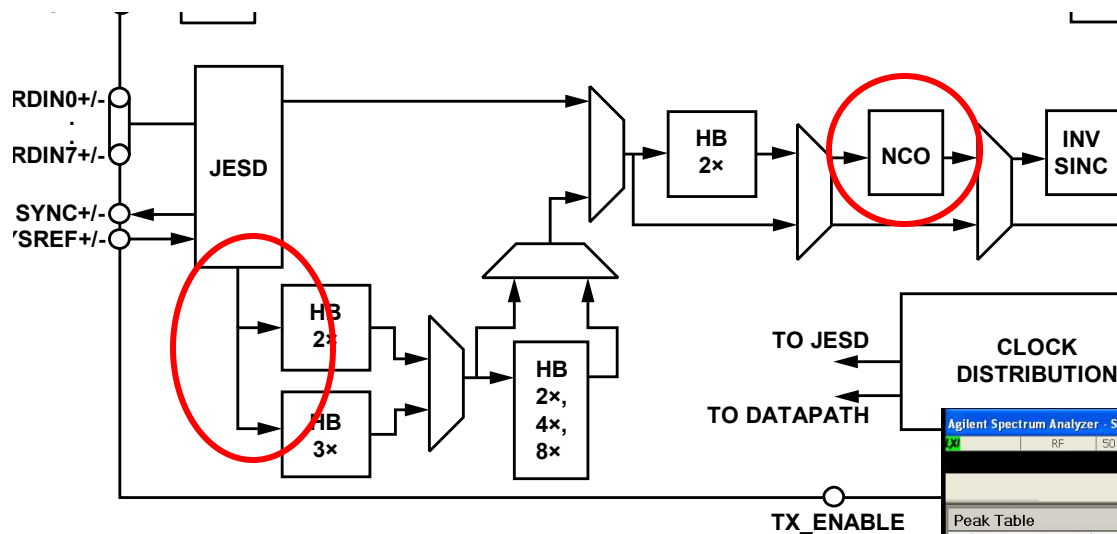
示例4：创建192 6-MHz 256-QAM电缆信号



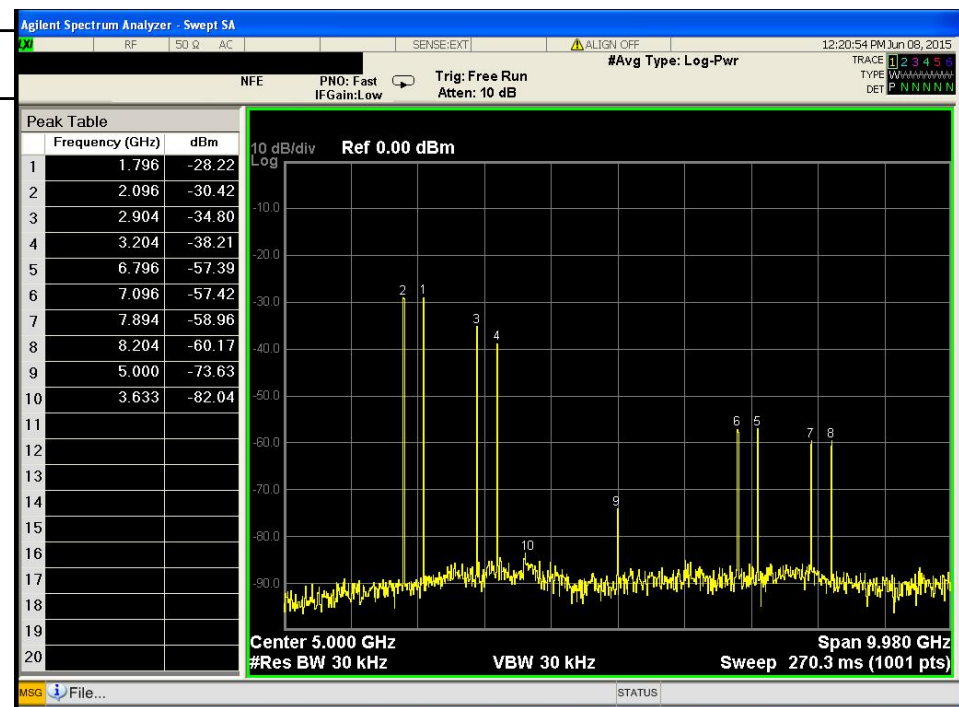
- ▶ 复数I/Q + 插值器，NCO + 2xNRZ模式
- ▶ 合成于基带、插值、利用NCO搬移，使用FIR85
 - 镜像被滤掉了



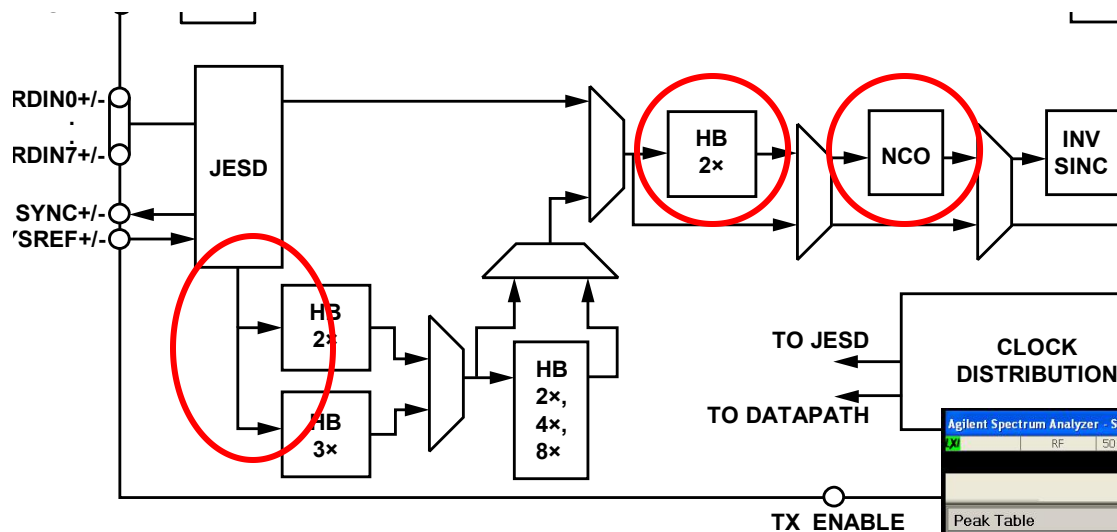
示例5：创建一个1.8 GHz、2.1 GHz双频LTE信号



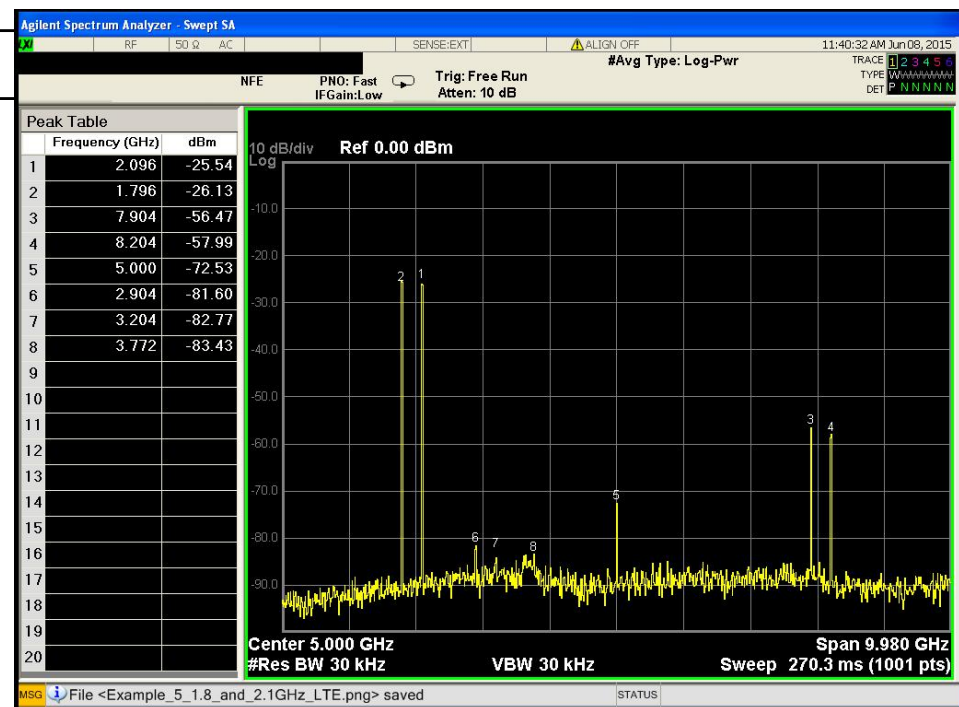
- ▶) 复数I/Q + 插值器，NCO
- ▶ 基带信号合成，插值，利用NCO搬移。
 - 镜像（双频信号的镜像可见）



示例5：创建一个1.8 GHz、2.1 GHz双频LTE信号



- ▶ 复数I/Q + 插值器，NCO + 2xNRZ模式
- ▶ 基带信号合成，插值，利用NCO进行频率搬移，打开 FIR85 滤波器。
 - 对镜像（双频信号的镜像）滤波
 - 一定的模拟信号流失可见

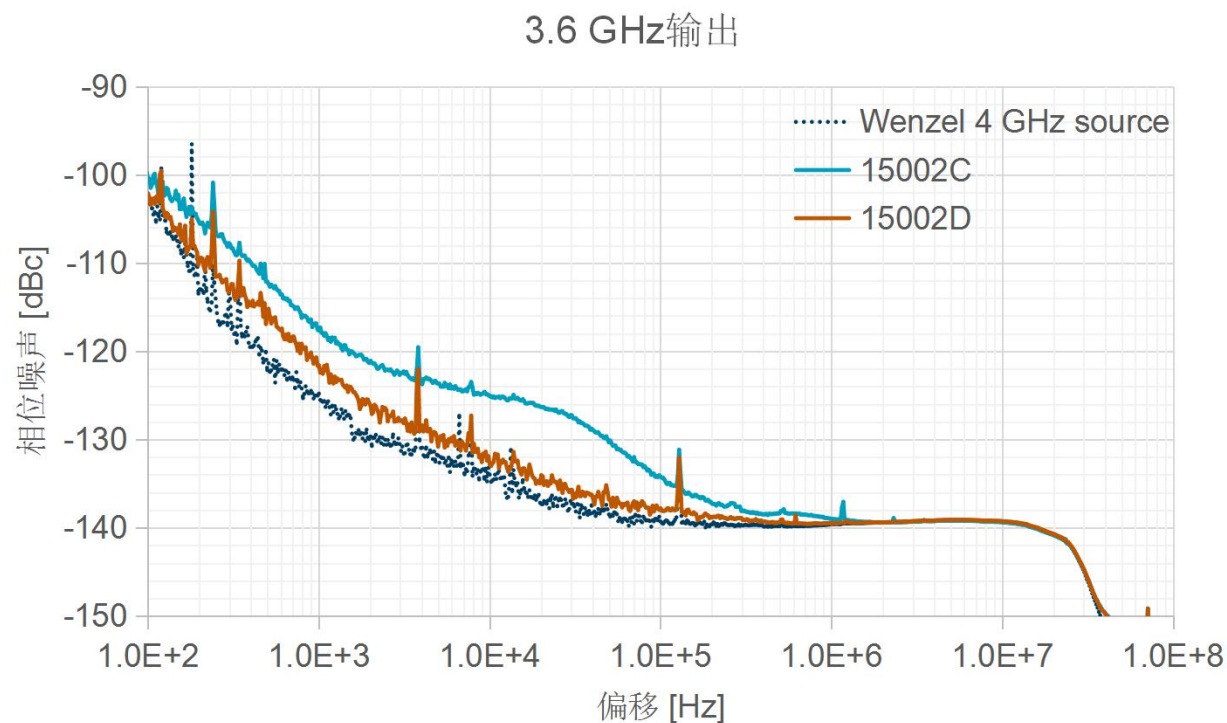


采用100 MHz SPI写操作的快速跳频



- ▶ 三次跳频
- ▶ 停留时间约为260 ns

相位噪声示例 – 3.6 GHz单音信号音

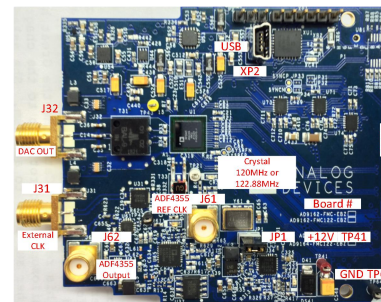
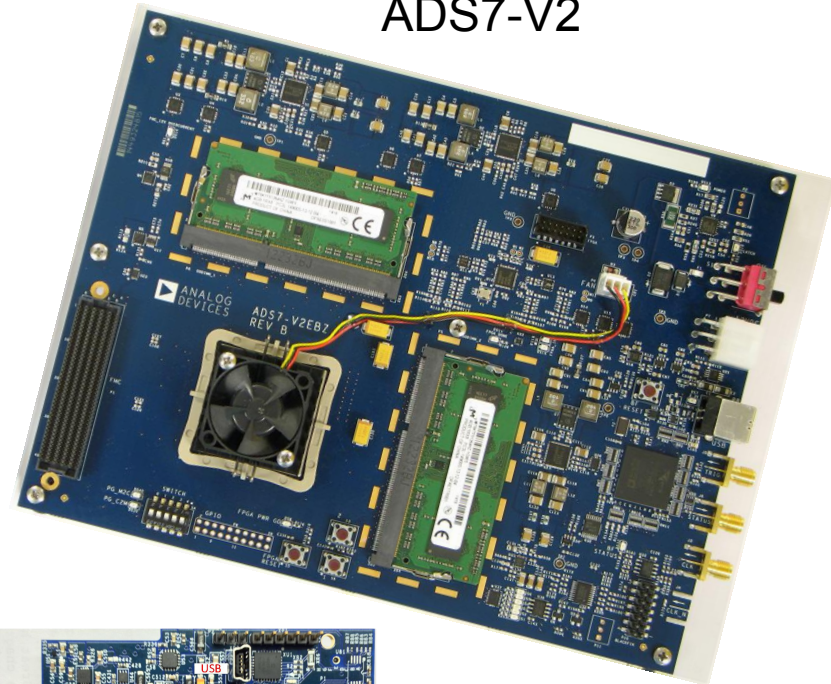
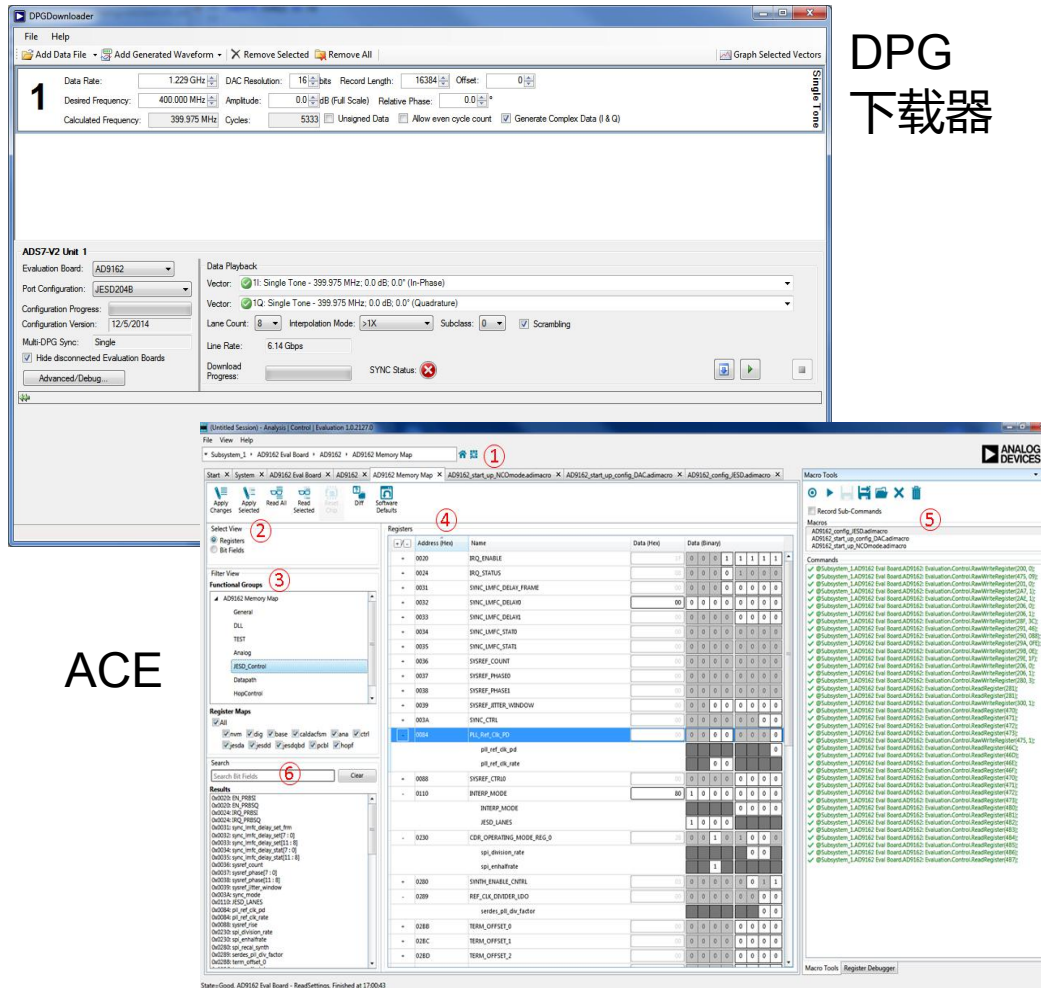


- ▶ 相位噪声性能对本振替代应用至关重要
 - 这里显示了AD9164配合两个不同稳压器使用时的相位噪声
 - ADP1761 (电路板15002D) 性能优于上一代稳压器

评估系统

DPG
下载器

ADS7-V2



AD9162-FMC-EBZ

谢谢观看！

- ▶ ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006
- ▶ ADI中国地区技术支持信箱：
china.support@analog.com
- ▶ ADI样片申请网址：
<http://www.analog.com/zh/sample>