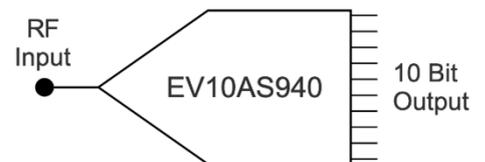




## 执行摘要

每个射频/微波系统级设计工程师都在寻找“银弹”器件解决方案，这将是所有性能规范要求的关键推动者。“银弹”可以定义为许多复杂问题的单一完美解决方案。对于今天的射频/微波接收机系统设计工程师来说，Teledyne e2v 的 10 位 12.8 GSPS ADC EV10AS940(内部集成了 DDC)是最终的“银弹”。ADC 将电磁世界转化为数字信号处理[1]。EV10AS940 这款 10 位 ADC 可直接转换从 L 到 Ka 波段(1Ghz-40Ghz)射频/微波输入频率(不需要模拟混合)，并集成了数字下变频(DDC)和信号调节的功能，包括:正交检测，跳频和波束形成(因此外部 DSP 引擎可以执行额外的输出计算)。



射频/微波系统的设计和采购，需要满足 5 个基本质量等级之一:消费级，商业级，工业级，军级或宇航级。这些质量等级按升序排列，每一个质量等级都需要更高的性能/可靠性和耐久性/寿命，并对应着递增的器件成本。此外，随着质量水平的提高，对于每个射频/微波应用，系统通常受益于不断增加的软件/动态重新配置能力，这反过来又大大降低了系统的整体成本。EV10AS940 是上述所有考虑因素的“银弹”，包括 SWaP 限制下的成本最小化(2.5W, 16x17.6 mm FCBGA 封装 @ Fsamplemax=12.8 GSPS)。

Teledyne e2v 的 EV10AS940 ADC 为所有射频/微波应用而设计，例如:军事/国防(航空航天，航空电子，雷达/SAR，电子战，通信)，空间(卫星，卫星通信，航天器，地球观测，边缘计算，导航(GNSS)，下一代 GPS)，电信/蜂窝，工业/制造，医疗/医疗保健，示波器/数字化仪，射电天文学，能源，量子导航和计算，汽车等。这个应用列表仅代表 EV10AS940 潜在用途的一小部分(如上文所述，这些应用所需的不同的质量等级都可以提供)。

## 射频/微波接收机系统开发

一直以来，射频/微波接收机系统一直需要所有应用中常见的基本电子元件:天线、滤波器、混频器、振荡器，以及最关键的 ADC 器件。电磁射频/微波信号由天线接收，经过滤波、混合并转换成数字信号，这样 DSP 就可执行系统计算。天线和 DSP 之间的信号处理称为下变频。接收机下变频发生在接收到的信号(来自天线)从射频到中频再到基带的频率转换时。射频频率范围是发射机应用的函数。中频频率范围是高度可变的，是根据提高频率选择性所需的许多因素(传输线，滤波器/混频器/振荡器规格等)来选择的。基带频率是 ADC 输入采样带宽的函数。除了下变频，正交检测常用于将信号解调为二维信号，二维信号的瞬时值(在时间上)可由两个部分组成的单个复数表示(I 表示同相信号的幅值，Q 表示正交信号(90 度偏移))。图 1(下图)展示了一个传统的双下变频射频接收机。该接收机基本上是一个窄带模拟系统，需要最多的电路，会引入基带信道不匹配和相位失真。软件重新配置(即跳频和波束形成等)也非常有限 [2]。

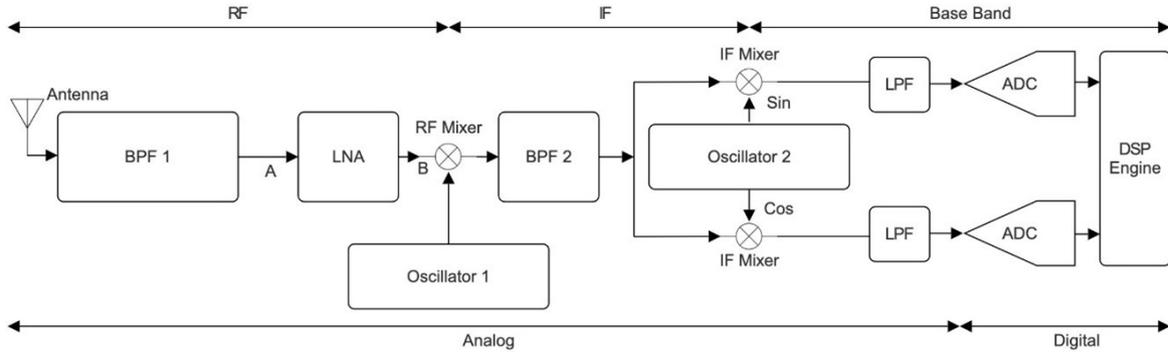


图 1: 传统的双下变频

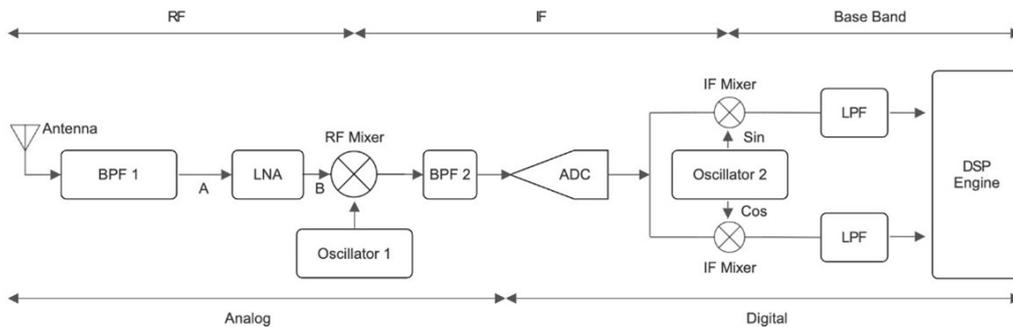


图 2: 使用外部 DDC 的中频下变频

图 2(上图)描述了对图 1 的重要升级。这要求 ADC 具有更高的输入信号带宽和相应的采样率，能够在指定的中频范围内处理信号。此外，中频到基带的频率转换、正交检测和滤波由 ADC 外部的数字下变频器(DDC)执行。DDC 消除了 I/Q 通道不平衡，可以很容易地编程和实时重新配置。DDC 也可以集成到 DSP 引擎中，但这会给 ADC 带来很大的负担，因为它需要驱动连接到板外的 DSP 计算机的相当长的数字线路。因此，将 DDC 功能(参见图 3)集成到 ADC 中，将实现最高的整体性能和最丰富的软件化选项。

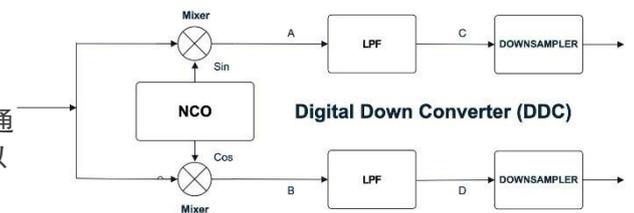


图 3

图 4 为射频/微波接收器设计人员提供了“银弹”解决方案，采用 Teledyne e2v 的 EV10AS940，这款 10 位 12.8 GSPS 的单通道 ADC 能够以 2.5 W 功耗直接采样/处理从 L 到 Ka 波段(1Ghz-40Ghz)的射频输入信号。EV10AS940 的尺寸很小，支持单端射频和时钟输入，集成了内部/可编程 DDC 和数控振荡器/NCO(用于 I/Q 检测，快速跳频和波束形成)，能够与天线设计在一起，以实现具有内部同步功能的多通道 ADC 阵列。

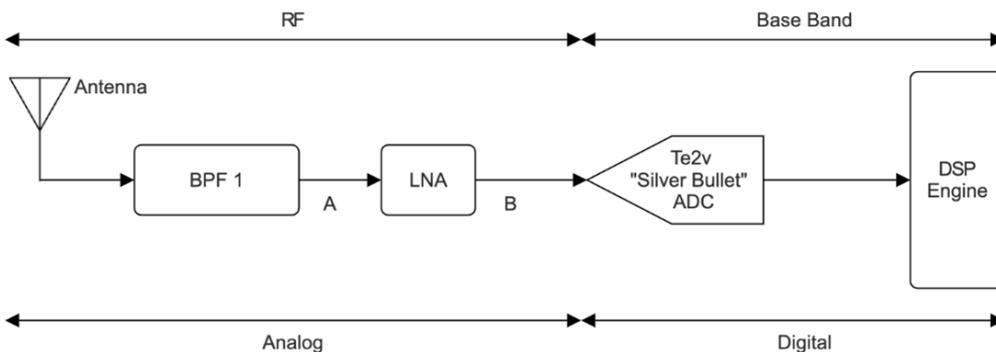
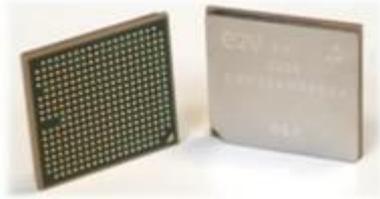


图 4: 使用内部 DDC 的直接采样射频 ADC



### 使用 EV10AS940 的射频/微波接收机系统信号管理



对于先进的射频/微波接收系统、雷达和软件定义微波无线电 (SDMR) 等应用, Teledyne e2v 的 EV10AS940 ADC 不仅仅是一款器件, 它还代表着未来。EV10AS940 的软件定义的灵活性和敏捷性(实时)允许动态频率计划, 包括同时采样/多频带和从 L 到 Ka 频带(1GHz-40GHz)范围的跨频带业务操作。EV10AS940 的输入带宽为 33GHz - 3db (12.8 GSPS, 功耗为 2.5W, 即 195 mW/GSPS), 这使其成为直接射频/微波接收器架构的最佳选择, 可消除了在天线和 ADC 之间的任何专用混频器。在数字方面, 它具有 11 个 ESistream 输出串行链路, 与采样时钟同步操作, 以实现确定性数据传输。ADC 集成的数字下变频功能具有多种抽取率(2 至 1024)的选项, 最多可提供 4 个独立的 NCO(4 个 DDC 通道), 以支持多通道管理, 包括确定性 I/Q 检测和多频段操作中的快速跳频(具有 RTZ, 连续和相干模式)。分数数字延迟可实现波束形成, 使得 EV10AS940 可用于相控阵应用。相干跳频和波束形成是由每个 NCO 上的多个相位累加器和确定性专用跳频触发 I/O 的数字延迟而实现的。其他功能包括背景和温度校准、温度监测、ESistream 62/64b、HSSL 到达选择和 HSSL 阻抗控制(2x50 Ω +/-20)。

#### 广泛的数字功能

- DDC, 从 2 到 1024
- X4 NCO 允许多通道管理
- 快速跳频
- 波束形成/数字延迟
- 自动背景校准
- 简单的多芯片同步



图 4(上图)给出了使用 EV10AS940 实现射频/微波接收器的优势和简单性。对于同时采样的多频带/服务接收机系统(我们将在后面讨论性能), 一切都从射频天线开始。线性极化天线只接收一个平面的信号, 但通常具有较长的读取范围。而圆形极化天线能够接收每一个可能平面上的信号。因此, 如果接收到的信号在同一平面内, 则使用线性极化天线, 如果

不在同一平面内, 则必须选择圆形极化天线。天线输出(L 到 Ka 波段)经过滤波(BPF1), 用于特定的频率选择和干扰抑制。使用射频低噪声放大器(LNA)放大并驱动 EV10AS940 的单端输入, 放宽了线性度要求。LNA 转换并放大来自天线的极低的功率射频信号。与期望的信号相比, 这种放大减少了 ADC 带来的噪声。这样, 接收机对 LNA 后的噪声就不那么敏感了。由于 LNA 驱动 ADC 的 50 欧姆单端输入, 因此不需要使用差分巴伦。巴伦有固有的带宽限制, 它的成本高, 并产生了 PCB 尺寸和重量的问题。无巴伦设计为 ADC 提供了超宽的宽带输入带宽, 该 ADC 还具有必要的直流阻隔和 50 欧姆的有效输入阻抗。这是对前端的重大增强, 支持更密集的设计布局。ADC 时钟输入配置与射频输入相同(单端、直流阻隔和 50 输入阻抗)(见图 5)[3]。

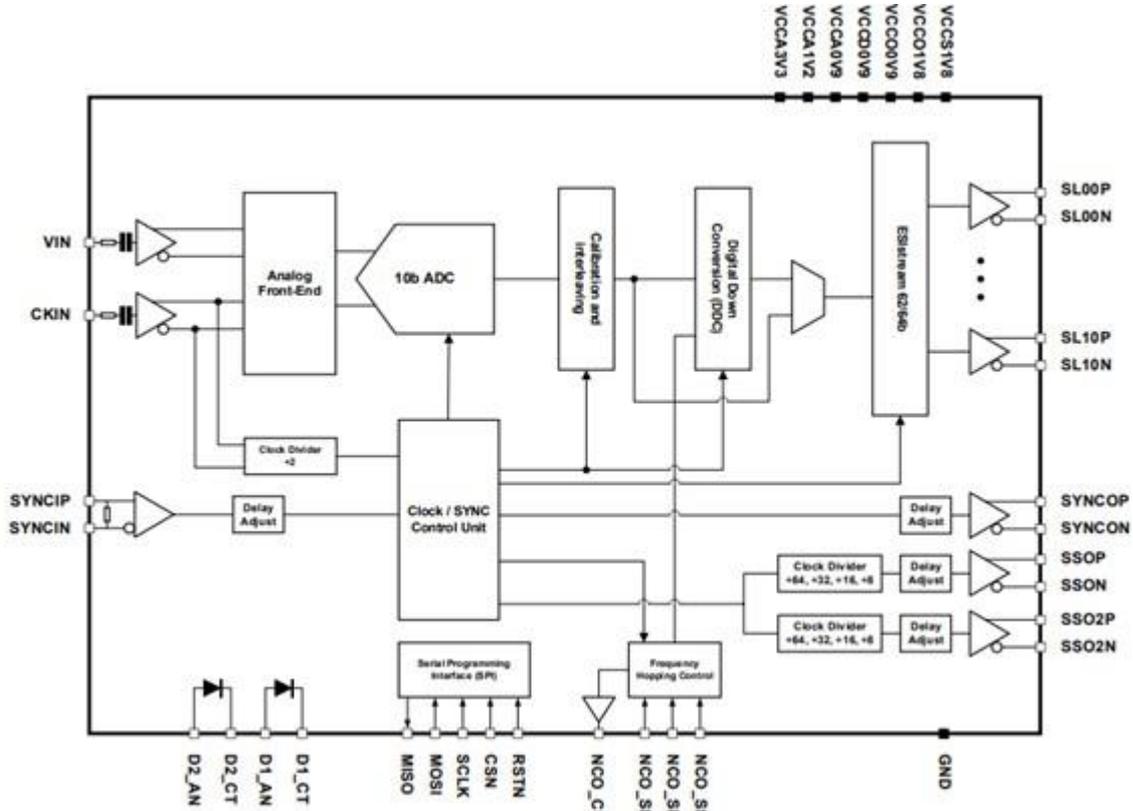


图5: EV10AS940 ADC 的框图

EV10AS940 提供最先进的模拟射频输入信号采样，与面向多频带/服务、快速跳频和波束形成应用而设计的全面数字信号频率控制同步(见图 6)。相干快速跳频使用每个精细控制 NCO 信道上的专用相位累加器，然后将其耦合到确定性和专用跳频触发信号。这提供了四个独立的配置通道，支持多频段系统。在所有四个通道中都可实现相位连续性。每个 NCO 通道可实现 4 位精细相位控制，在管理跨通道相位延迟方面具有广泛的灵活性。第 5 个 NCO 通道提供粗相位设置，对四个 NCO 的精细控制输出进行门控，以处理大型阵列天线环境中独立射频通道之间的相对相位偏移。确定性是这种集成 ADC 架构的优点之一[4][5]。

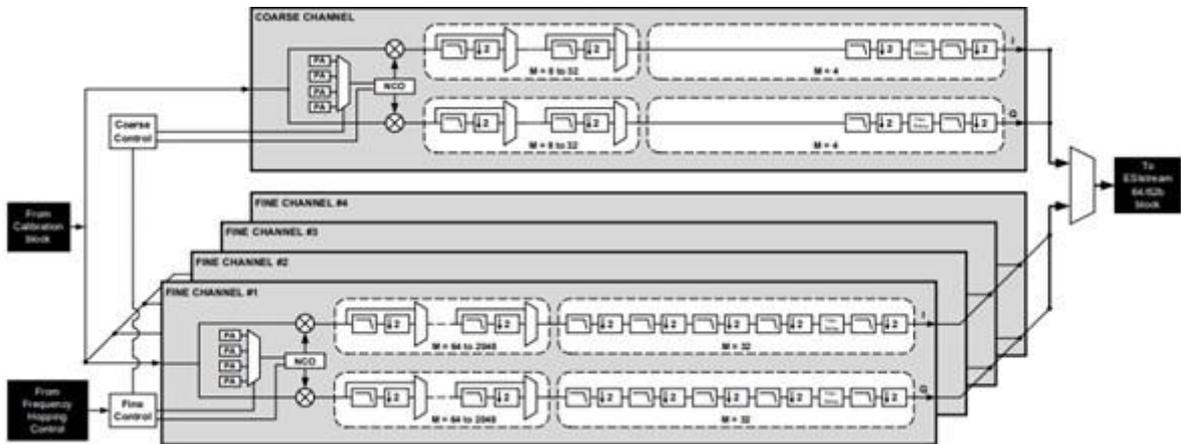


图6: EV10AS940 DDC 的框图



随着采样时钟频率的增加，特别是在波束形成系统中，有一点变得至关重要：信号采样时钟边缘在整个系统中被确定地应用，从而确立系统的空间精度极限。采样时钟相位精度对时钟系统精度提出了很高的要求(特别是在 SAR 系统中)。在这方面，EV10AS940 集成了 Teledyne e2v 的“同步链”功能，允许相控阵中的每个单独的 ADC 消除数字亚稳态，因为链上的每个器件可“重新计时”其接收到的同步信号，随后由时序链下的所有其他 ADC 共享。该方法可确保每个器件在精确的时间点进行采样。因此，无限通道并行化成为可能，并从根本上消除了通道相位不对齐的问题。

### 系统性能

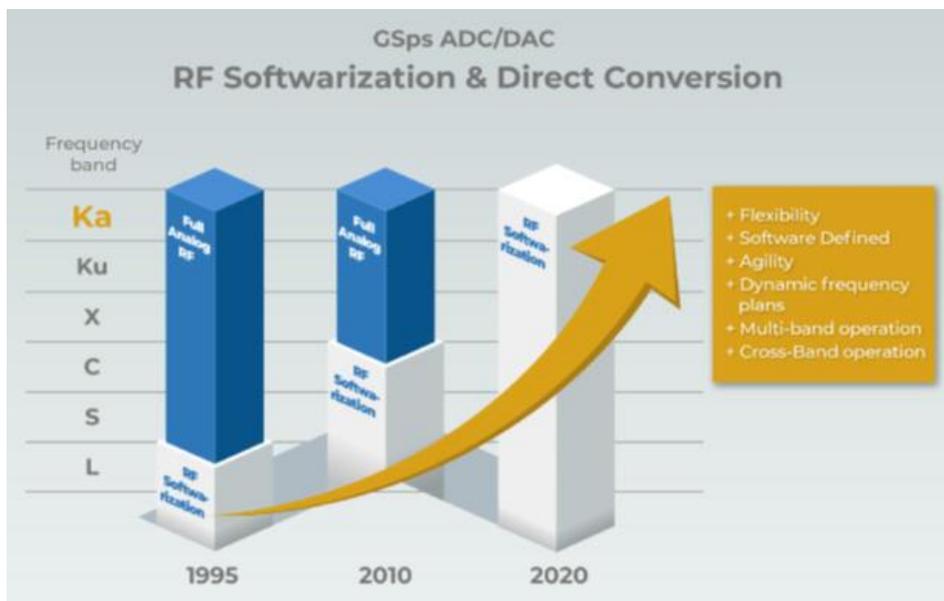


图7

从 1995 年起，在超过 29 年的时间里，Teledyne e2v 一直为业内提供微波射频接收器产品。随着过去的几十年里射频处理频率的增加，更高的频段(即 Ka 频段)逐渐成为行业的共同需求，系统的增量软件化能力也需要增强。最终，人们实现了软件化的接收器(见图 7)。Teledyne e2v 的 EV10AS940 ADC 是一个“银弹”，它是一个完全软件化(动态软件可重构)的接收器(见前面的图 4)。这个单链接收器能够同时(而不是顺序)转换多频段(L-Ka 频段)，实现无缝连接的多业务操作，并可支持 LEO/MEO。接收器可动态重新配置(即频率可调)。直接射频转换(无混频器)允许接收模块与数字频率转换、I/Q 检测、跳频和波束形成所需的所有电路一起位于天线上。必须尽量减少射频接收器 PCB 上的数字数据路由，因为它是提升多业务系统能力的重大障碍[6]。图 8 显示了由 Teledyne e2v EV12DD700 DAC 驱动的代表性的射频发射机的输出频谱，同时发射 X 和 Ku 波段的输出信号。DAC 同时发射多波段信号，而 EV10AS940 ADC 射频接收器(图 4)也可同时接收和处理这些信号[7]。

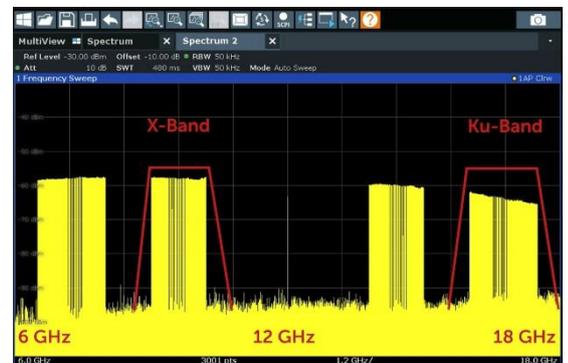


图8



### EV10AS940 关键动态特性快照

- 33GHz (-3dB) 模拟带宽
- SFDR (Fs= 12.8GHz, POUT=-6dBFS)
- Fin = 4.1GHz -> -54.5dBc
- Fin = 14.1GHz -> -50.2dBc
- Fin = 17.4GHz -> -50.4dBc
- Fin = 28.4GHz -> -50.5dBc
- Fin = 40.5GHz -> -32.1dBc

图9

这种方案还可实现最佳的多频带 SFDR 和相位/噪声性能(见图 9 和图 10)。在接收机系统频率规划方面，一旦硬件实现被确定(包括天线、BPF1、LNA 和 EV10AS940)，唯一的设计变量(除了软件重新配置)就是采样时钟频率。因此，一个完全可软件化的系统允许连续的动态射频/微波系统重新配置(最终利用人工智能技术实现)。

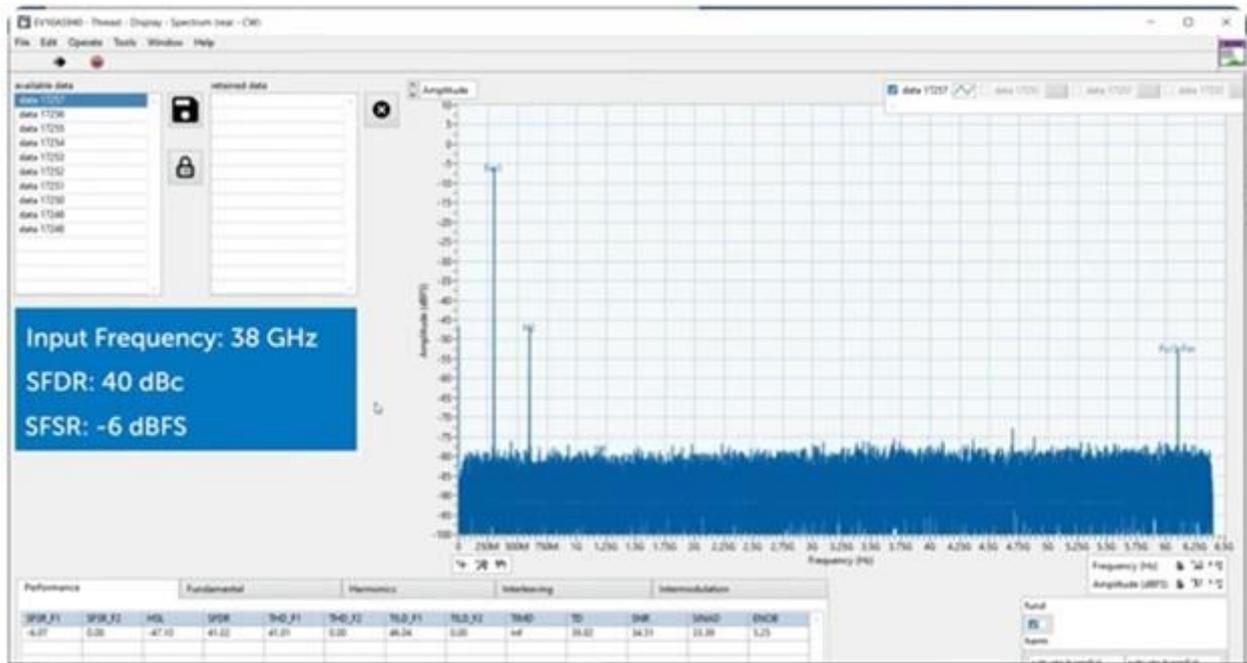


图10

噪声功率比(NPR)测试是用于测量当相邻信道/频带通电时，多频带系统中未使用信道/频带的安静程度。NPR 是使用高斯噪声源(代表所有多频带频率)驱动射频接收器，结合各种陷波滤波器模拟选择的频带来测量的。首先不使用陷波滤波器，接收机测量陷波带宽内信号的均方根噪声功率。然后使用陷波滤波器，测量陷波内的残余噪声。这两个读数的比值(以 dB 表示)就是 NPR。图 11 展示了初步的 NPR 测量值，这有助于评估利用 EV10AS940 ADC 进行同步采样的多频段射频/微波接收机性能。

Parameter	Test Level	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>Noise Power Ratio (NPR) @ -14 dB LF (with 5.1GHz pattern width, 50MHz notch located at F<sub>c</sub>/4)</b>						
1 <sup>st</sup> Nyquist		NPR		35.5		dB
2 <sup>nd</sup> Nyquist			35.0			
3 <sup>rd</sup> Nyquist			35.0			
4 <sup>th</sup> Nyquist			34.5			
5 <sup>th</sup> Nyquist			34.0			
6 <sup>th</sup> Nyquist			33.5			
7 <sup>th</sup> Nyquist			33.0			

图 11: EV10AS940 典型的 NPR 性能指标



## 结论和后续步骤

射频/微波系统开发人员希望设计以下的宽带接收系统：

- L 到 Ka 频段/直接射频同步采样
- 多频段
- 多业务/应用
- 单端 (无巴伦)
- 低成本
- 低功耗
- 小形状参数
- 可扩展到确定性相位采样的无限多通道实现
- 软件化 (动态实时软件重配置)
- 内部 DDC: I/Q 检测, 三模快速跳频, 波束形成
- 用于不同应用的多种质量级别 (从消费级到宇航级)

这似乎是一个不可能实现的愿望清单，然而 Teledyne e2v 的 10 位，12.8 GSPS ADC EV10AS940 却实现了。它是所有射频/微波系统级开发人员的“银弹”解决方案。



那么，下一步是什么？请下载 Teledyne e2v 的 EV10AS940 数据手册，与全球市场上任何其他射频 ADC 进行比较，亲自验证它是“银弹”，然后联系 Teledyne e2v 获取评估板 (请参见图 12)[8]。我们期待着与您合作，共同开发下一代射频/微波接收机。

## 参考文献

- [1] Rebecca Cohen-Hirsch, “Why Ka-Band Best Supports the Modern Military Mission,” MilsatMagazine, Sept. 2015.
- [2] Dr. Steven Arar, “Basics of Digital Down-Conversion in DSP,” All About Circuits, June 2018.
- [3] Stephane Breysse, “ADC Performance in multiple frequency bands up to Ka with only 195mW/GSPS and single ended inputs,” Teledyne e2v You Tube.
- [4] Nicolas Chantier, Helene Barneoud, “Direct microwave conversion capabilities now made possible deep into the Ka-band,” White Paper: Teledyne e2v Semiconductors, December 2023.
- [5] Nizar Bouzouita, “EV10AS940 Digital features: Frequency hopping & Beamforming,” Teledyne e2v YouTube.
- [6] Frederic Deviere, Nicolas Seller, Jane Rohou - Teledyne e2v, Saint Egrève, France, “Making History: Advanced System in a Package Technologies Enable Direct RF Conversion,” Microwave Journal, Jan. 2021.
- [7] Stefano Lischi (1), Riccardo Massini (1), Romain Pilard (2), Daniele Stagliano (1), Nicolas Chantier (2), (1) Echoes s.r.l, Cascina (Pisa), Italy, (2) Teledyne e2v, Saint Egrève, France, “Feasibility Study of a Fully-Digital Multi-Band SAR System operating at L, C, X and Ku Bands,” 7th Workshop on RF and Microwave Systems, Instruments & Sub-systems + 5th Ka-band Workshop. 10-12 May 2022.
- [8] Helene Barneoud, “State of the art microwave capable ADC: a demonstration of EV10AS940 FMC Board, Teledyne e2v You Tube.



更多信息，请联系：

**Nizar Bouzouita,**  
应用工程师

信号和数据处理解决方案

[Nizar.BOUZOUITA@Teledyne.com](mailto:Nizar.BOUZOUITA@Teledyne.com)



更多信息，请联系：

**Helene Barneoud**  
应用工程师

信号和数据处理解决方案

[Helene.BARNEOUD@Teledyne.com](mailto:Helene.BARNEOUD@Teledyne.com)

