



执行摘要

模数转换器(ADC)是连接电磁世界和高级数字信号处理世界的关键下行桥梁。将这些系统关键器件的采样频率和带宽能力扩展到更高的微波频率,可为未来的通信工程师提供了无数的机会,推进先进技术的发展,并在频谱使用方面提供更大的灵活性。法国格勒诺布尔的 Teledyne e2v 公司一直在利用其在微波工程方面的丰富经验推进前端无线电能力的发展,以支持不断增长的数据吞吐量和系统性能的要求。

最新的 ADC EV10AS940 是一款单通道 10 位分辨率时间交错 ADC,具有 33GHz 的-3dB 带宽,可将直接转换性能扩展到 Ka 波段。值得注意的是,这款最新的器件将功耗降低了五倍,仅为 2.5W/ch,同时支持实现宽带操作并提供复杂的数字频率管理控制。这里展示的主要创新包括:

1. 新颖的单端时钟和信号输入,无需使用巴伦,并有助于扩展采样带宽和减少系统占用
2. 先进的集成的数字功能,包括数字下变频(DDC)和
3. 多个数控振荡器(NCO),支持快速跳频(FFH),无需外部混频器
4. 较小的外形尺寸使其可与天线共存,以帮助实现智能天线阵列和波束转向方法

本文将讨论每一个关键的进展。

介绍

Teledyne e2v 在推进软件定义微波无线电(SDMW)或天线到比特的概念的发展过程中,在提高直接微波转换的性能方面,取得了巨大的进步。几年前,Teledyne e2v 就开发了使用试验器件 EV12PS640¹的概念验证设计,提高了采样器的带宽。在 2022 年 5 月 10 日至 12 日举行的第七届射频和微波系统、仪器和子系统研讨会和第五届 ka 波段研讨会上,一项有关全数字多波段 SAR 雷达的可行性研究²进一步加强了这项工作。

其研究结果是一个比最初的预期更快、更强大的设备。这也许并不奇怪,因为此前几个关键的性能指标一直停留在理论领域,直到做出实际的芯片。这个新设计的几个方面依赖于所选择的核心技术的变化。

本文包含哪些内容?

本文将讨论 Teledyne e2v 公司的新型 Ka 波段直接数字采样器 EV10AS940 的发展。您会了解:

- 一款采样率大于 5GHz,带宽高达 33GHz 的器件
- 超低功耗 195 mW/Gsps, 额定功耗仅为 2.5W @ fclk =12.8GHz
- 全新的设计,以实现强大的性能
- 通过片上数字辅助技术增强了集成度,包括数字下变频(DDC)和多个数控振荡器(NCO)
- 小尺寸、单通道设计

预期应用

- HTS 卫星通信系统
- 地球观测雷达,包括 SAR
- 遥测、跟踪和指挥(TT&C)系统

¹探索 Teledyne e2v ADC 概念验证 - 直接从 P 波段采样到 ka 波段, 2022 年 11 月
²L, C, X, Ku 波段全数字多波段 SAR 系统的可行性研究

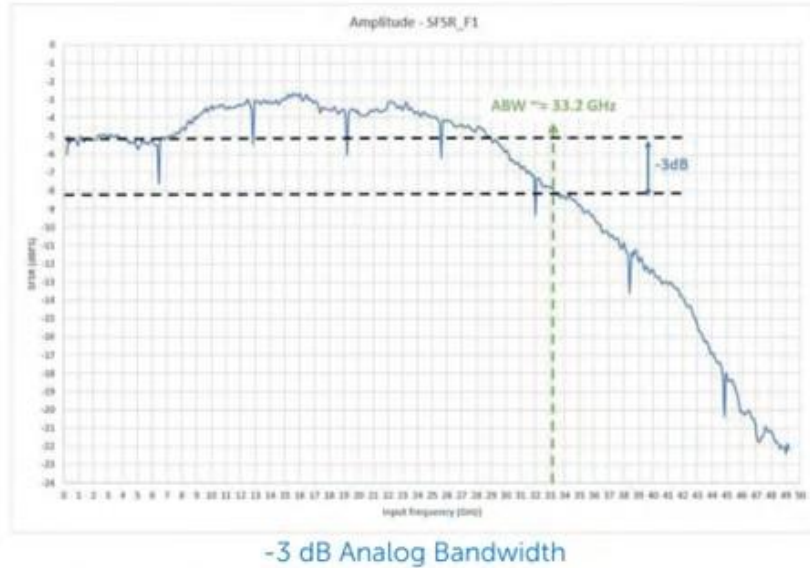


图 1 - EV10AS940 宽带输入带宽

下一代设计目标需要全新的方法

这是一种新架构、新工艺技术和大量系统创新的结合。自上一款 ADC EV12AQ600 发布以来，这款新产品展示了微波工程领域的许多变化。前端输入设计的变化扩展了带宽，同时增加了设计的灵活性。功耗呈显著下降趋势，同时集成数字频率控制的功能大大提高了该采样器的价值，同时节省了空间。

单端输入

例如，先进的前端设计以及相关的单端信号和时钟信号。这与当代 RF 设计中常见的平衡差分输入信号有显著区别。让我们考虑一下由此产生的优点。

现代 RF 设计总是需要使用巴伦将信号连接到数据转换器。这带来了一些挑战。首先，巴伦存在固有的带宽限制，因此可能会对给定设计的信号频率响应产生重大影响。巴伦使频率规划变得复杂，因为可用的选项是有限的。此外，巴伦显著增加了设计的重量、空间限制和成本。这款器件的无巴伦设计提供了 33 GHz 的 -3 dB 带宽的宽带输入能力，并通过集成的直流阻断和 50 欧姆有效阻抗得到增强。这是对前端的显著增强，支持更密集的设计布局。

扩展带宽

我们为这款新的采样器设计了一种全新的宽带前端，用于支持 Ka 波段。这款器件拥有 33GHz 的 -3dB 的带宽，可提供足够的无杂散性能，提供有用的信号采样，并支持 Q 波段(33 至 50GHz)的范围——请参考关键的动态性能参数。

对前端的进一步的改进包括采用单端信号方法、片上直流阻断和 50 欧姆阻抗匹配。

EV10AS940 的关键动态性能一览

33GHz (-3dB)模拟带宽

$F_s = 12.8\text{GHz}$, $POUT = -6\text{dBFS}$ 时的 SFDR:

$F_{in} = 4.1\text{GHz} \rightarrow -54.5\text{dBc}$

$F_{in} = 14.1\text{GHz} \rightarrow -50.2\text{dBc}$

$F_{in} = 17.4\text{GHz} \rightarrow -50.4\text{dBc}$

$F_{in} = 28.4\text{GHz} \rightarrow -50.5\text{dBc}$

$F_{in} = 40.5\text{GHz} \rightarrow -32.1\text{dBc}$



信号频率管理

这种复杂的混合信号产品可提供全面的数字信号频率控制，特别是针对多波段和波束转向应用。集成的数字信号下混频由四组精细控制的相位相干 NCO 辅助，支持从器件的 33 GHz (L 波段到 Ka 波段) 输入范围内选择的四个独立频段。

相干快速跳频 (FFH) 的实现要归功于每个精细控制 NCO 信道上的专用相位累加器 (见图 2)，以及与确定的专用跳频触发信号耦合。它提供了四个独立的配置通道，支持多频段系统，可在所有四个通道中实现相位连续性。它支持在每个 NCO 通道中实现 4 位精细相位控制，从而在管理跨通道相位延迟方面实现广泛的灵活性。第五个 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 RF 通道之间的相对相位偏移。三种可编程模式进一步支持 FFH。它们是归零 (RTZ) 模式、相位连续模式和相干模式。

确定性是该集成采样器的优点之一。它来自于从系列其他产品中继承的功能，即同步或同步链 (见侧框)。它是一种健壮的方法，可以跨大型分布式设备阵列实现同步采样。同步信号通常是由信号处理主机从外部发出的慢速时钟沿。同步信号用于避免在整个采样系统中发生亚稳或不确定的时钟边沿事件。每个采样器使用同步信号作为本地采样门信号。同步信号为同步链中的每个设备导出，并调整输出以考虑同步信号通过时间的延迟 (通过单个采样器的行程时间)。SYNCOUT 信号确保一旦执行启动校准，可在宽工作温度范围内实现整个扩展系统的同步采样。这确保了确定性采样以及在所有频段保持精确的信号相位关系。

同步链——为波束成形实现大量通道的并行化

随着采样时钟频率的增加，特别是在波束形成系统中，信号采样时钟边沿在整个系统中被确定性地应用，从而建立了系统的空间精度极限。采样相位精度对时钟系统精度提出了很高的要求，特别是在合成孔径对地观测 (EO) 雷达中。

Teledyne e2v 开发了一种新型的同步链功能，减轻了对采样时钟相位的要求。这消除了相控阵中的每个单独的 ADC 的数字亚稳态问题，因为同步链上的每个设备“重新计时”其接收到的同步信号，随后由时序链上的所有 ADC 共享。这是一种天才的方法，可以确保每个设备在精确的时间内进行采样。这使得大规模信道并行化成为可能，显著缓解了令人头疼的信道相位对准问题。

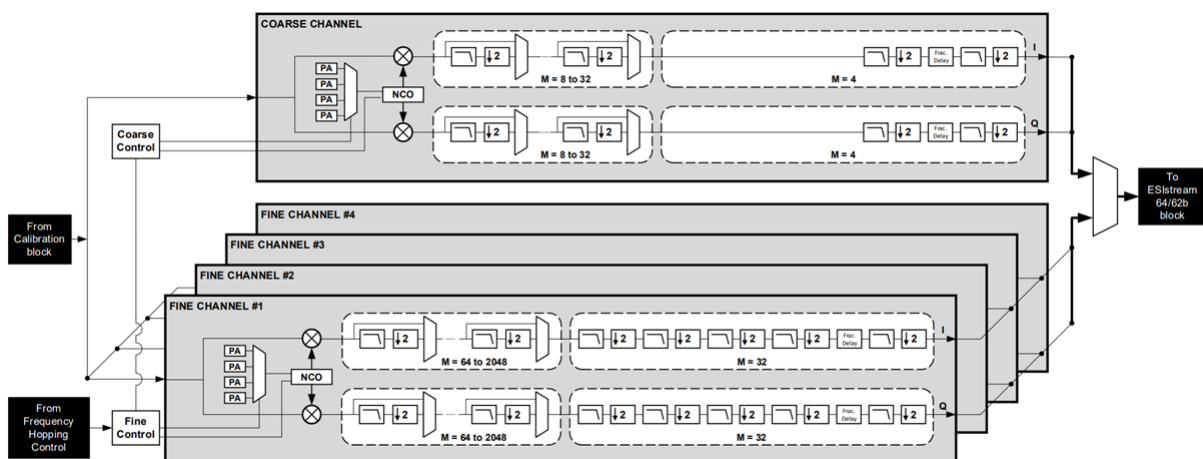


图 2 数字粗、细相位控制 NCO 支持多波段 FFH



EV10AS940 是一款专门设计用于多通道系统的芯片。数字部分和每通道分数延迟实现了射频前端的稳定同步，确保该部分在数字波束形成相控阵中具有出色的性能。下变频或频率混合来自于集成数字下变频器，它提供从 2 到 1024 的数据抽取比。

抽取后，样本数据以 12.8 Gbps 的速度通过 ESStream 高速串行链路(HSSL)输出。ESStream 是 Teledyne e2v 的免许可数据协议。该协议的最新扩展版本使用 62B/64B 编码，数据传输效率提高了 96.9%。ESStream 的主要优点是确定性延迟和低硬件开销，并简化了链路协议的 FPGA 实现。此外，ESStream 在编码方案中嵌入直流电缆平衡，确保 64 位的最大运行长度。它还支持活动链路同步监控。

散热、功耗和尺寸

低热量、低功耗和小尺寸是任何宽带设计的三大考虑因素，同样它们也是影响挑战性环境下系统设计的关键因素，特别是对于空间约束和高可靠性的任务。我们一直致力于现代设计中 SWaP³ 性能的持续改进，并取得了很大的进展。该采样器的设计在功耗方面取得了显著进步。早期的概念验证型号的功耗约为 15W，而该器件提高了采样速度，同时将功耗降至 2.5W/通道（功耗降低了五倍）。

如此大幅度的功耗降低有助于简化设计布局，同时降低对热管理的需求。器件的温度监测可以通过读取片上热监视器来进行。该数字传感器提供瞬时和平均读数，可以通过内部设备寄存器进行查询。通过这种方式，可以远程监控天线阵列的热性能，无需额外的传感器配置。

这款新的器件封装在有机衬底上，有助于抑制寄生性能下降。基板有 350 个球，0.8 mm 间距，16 x 17.6mm 倒装芯片球网格阵列(FCBGA)封装。这种封装已获得高可靠性应用的批准，包括用于空间任务。

持续校准

EV10AS940 使用时间交织 ADC，如果不进行校正和校准，会引入偏移和增益不匹配。片上校准系统估算和补偿两个不匹配的源。请注意，交织 ADC 的时序不匹配和带宽不平衡在模拟前端得到缓解。我们提供两种校准方法：

- **背景校准**是基于在主动信号采样期间运行的连续计算。对于每个交织 ADC，在滑动时间窗口上估计输出的平均值和均方根值。将数值与全局平均值(对于偏移量)和均方根值(对于增益)进行比较，并分别通过减法和除法实时提取偏差。
- **默认出厂校准**。在某些应用中，由于节能等原因，无法使用后台校准功能。在这种情况下，可将存储在一次性可编程存储器中的工厂校准系数应用于前端。

结论

新的 EV10AS940 宽带微波采样器包含了大量的器件创新。值得注意的是，这款采样器的宽带单端输入有助于实现无巴伦设计，以最大化系统带宽，同时减少 PCB 的面积。

³ SWaP - 尺寸、重量和功耗。



这款器件集成了一对新颖的可编程数字频率控制功能——DDC 和多频段 NCO 子系统，使其成为相控阵设计的波束形成的理想解决方案。该器件一定会受到客户的欢迎，特别是那些寻求混合任务空间有效载荷，希望提高地球观测合成孔径雷达 (SAR) 或先进电子对抗 (ECM 和 ECCM) 的系统性能的客户。

此外，执行三模式 FFH 以及在高采样率下提供确定性相位采样的能力巩固了该器件作为高性能微波技术器件的地位。Teledyne e2v 一直坚持他们对多波段软件定义微波无线电系统的愿景。EV10AS940 是其持续致力于发展先进的微波半导体工程和将数字转换器从基带工作模式 (第一和第二奈奎斯特区) 迁出并将性能迁移到更接近 RF 天线的一个例子。

参考文献

- Discover Teledyne e2v ADC Proof of Concept - Capable of Sampling Directly from P- to Ka-Band [EV12PS640 | Microwave Journal](#)
- [Fully-Digital Multi-Band SAR System operating at L, C, X and Ku Bands a whitepaper written in Partnership with ECHOES Radar Technologies](#)
- [ADC Performance in multiple frequency bands up to Ka with only 195mW/GSPS and single ended inputs.](#)
- [State-of-the-art microwave ADC: A demonstration of the EV10AS940 FMC board](#)



更多信息，请联系：
Nicolas Chantier,
市场总监
信号和数据处理解决方案
nicolas.chantier@teledyne.com



更多信息，请联系：
Heline Barneoud
应用工程师
信号和数据处理解决方案
Heline.BARNEOUD@Teledyne.com

