

多功能：困境抑或现实？

作者：Duncan Bosworth

下一代航空航天等通信系统设计工程师正被推进到开发技术先进、高度可配置系统的阶段，需要整合各种不同的功能和需求，集成以前通过独立系统实现的功能。显然，这样做的好处是可以减少任务平台需要支持的子系统数量，降低整体尺寸、重量和功耗 (SWaP)，但由于还需要进一步支持认知和实时配置，其挑战可谓令人怯步。然而，新一代高性能、宽带器件为该挑战提供了潜在解决方案，不仅支持各系统要求的高性能水平，而且工作范围又非常宽，足以应对多功能挑战。

许多此类未来系统的终极目标是实现完全由软件决定的架构，以便能够动态改变、在现场更新或在工厂配置实施方案和工作模式，无需或只需非常少的硬件更改。挑战在于系统可能需要支持各种工作模式的超集，这要求底层单一硬件能够满足所有可能需要的工作模式的技术规格。

此类系统的一个例子是雷达和通信平台。雷达系统除多模式雷达外，还希望支持电子支援措施 (ESM)；通信系统除多波形通信外，还希望实现信号情报 (SIGINT)功能。

在这两个例子中，系统均希望整合宽带和窄带功能，而这些功能在线性度、动态范围和其他要求方面通常大相径庭。如果技术规格没有商量的余地，为了达成首要目标，设计人员可能不得不在功耗或尺寸上作出让步。例如，考虑一个X波段雷达系统和一个宽带电子系统 (ELINT)。雷达系统的工作频率范围通常相对较窄，典型值是8 GHz到12 GHz频段内的数百MHz。相比之下，ELINT系统的工作频率范围通常是2 GHz到18 GHz，涵盖所有S、C和X波段。如果假设这两个实现方案的尺寸必须相同，那么可能需要在性能上作出让步以支持ELINT系统更宽的频率范围和覆盖。对于本例，通常可以用信号链的线性度或功耗来换取带宽。

若将相同的理念运用于器件层面，则会观察到同样的问题。对于宽带系统，器件至少有一个方面的性能会受到影响，例如线性度、噪声性能或功耗等。下面的表1显示了集成压控

振荡器 (VCO) 的宽带和窄带锁相环 (PLL) 的典型性能折中。可以看到，窄带器件具有更好的典型相位噪声、品质因数和功耗性能，但显然这是以牺牲灵活性为代价来获得的。

表1. 集成VCO的典型宽带和窄带PLL的性能比较

	集成VCO的宽带PLL ADF4351	集成VCO的窄带PLL HMC837
输出频率	0.035 GHz至4.4 GHz	1.025 GHz至1.150 GHz
品质因数	-221 dBc/Hz	-230 dBc/Hz
VCO P/N @ 100 kHz (dBc/Hz)	-114	-120
VCO P/N @ 1 MHz (dBc/Hz)	-134	-147
尺寸	5 mm × 5 mm	6 mm × 6 mm
功耗	370 mW	168 mW

虽然在单个系统中实现多种系统规格时，总会有一些折中和让步，但下一代射频和微波器件以及高速ADC将会缓解未来系统设计师的部分压力。CMOS和硅锗 (SiGe) 工艺以及其他方面的进步，使得越来越多的数字功能可以被集成到新一代器件中。除了灵活多变以外，先进的信号处理能力还能提供校准或数字补偿功能，使得系统整体的性能水平更接近于对应的窄带系统，同时还能重新配置并利用更宽的带宽来支持所需的工作模式。

图1所示为一个基于多种最新射频和微波器件的通用宽带接收机架构图。

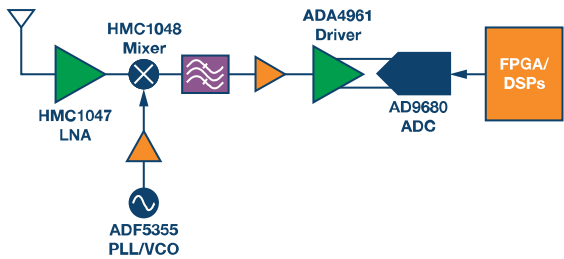


图1. 可能的宽带可再配置信号链

虽然在实际应用中,上述架构可能需要额外的滤波和增益级来实现具体规格要求,但底层器件的灵活性支持实现带宽非常宽的监控系统架构。此外,可配置的数字信号处理功能支持信号链在需要时执行更多窄带功能。更妙的是,系统还能动态实时地变更工作模式,从而有望与下游的其他数字信号处理电路一起支持更多功能。

图中所示信号链的前两级——低噪声放大器(LNA)和混频器系采用GaAs技术实现。虽然宽带SiGe混频器已取得进步,但前端器件最好还是使用GaAs和GaN器件。两种情况下,HMC1049和HMC1048都能提供非常宽范围的性能和出色的IP₃,支持窄带和宽带操作。这些器件说明,工艺进步使得单个器件就能满足多种规格要求,而无需附加数字功能。数字功能嵌入射频器件的好处可以在信号链的其他元件中看到。

新型PLL [ADF5355](#) 集成VCO,支持54 MHz至13.6 GHz的射频输出,并提供宽范围的合成器频率以供使用。该器件基于SiGe工艺,采用四个独立集成的VCO内核,能够支持丰富多样的操作。每个内核使用256个交叠频段,使得器件能够覆盖很宽的频率范围而无需很高的VCO灵敏度,相位噪声和杂散性能亦不受影响。器件内部集成的数字校准逻辑自动选择正确的VCO和频段。该器件使得信号链既能支持54 MHz至13.6 GHz的射频扫描,也能视需要支持固定频率。同时,信号链还能维持更多窄带系统操作所需的高性能水平,1 MHz偏移时的典型相位噪声为-138 dBc/Hz。

[ADA4961](#) ADC驱动器提供宽带性能和出色的线性度。利用SPI和嵌入式数字控制,它在500 MHz时实现了90 dBc的IMD₃性能,1.5 GHz时为-87 dBc。器件集成数字控制,支持增益控制和快速启动选项,使得器件可以根据需要进行配置,最佳地发挥系统性能。快速启动还能提高系统的灵活性,因为当FA引脚被驱动时(通常由ADC的超范围检测输出驱动),它能迅速降低增益,使得ADC不会进入饱和状态。

信号链中的最后一个器件是 [AD9680](#),它是最新高速转换器之一。该器件基于65 nm CMOS工艺,在14位分辨率时支持高达1 GSPS的采样速率。使用更高采样速率和GSPS转换器的带宽时,AD9680有能力以超过1 GHz的频率对中频信号进行欠采样。这与将系统数字转换点移近天线并提高系统灵活性的持续趋势是一致的。该器件不仅提供业界卓越的SFDR和SNR性能,而且集成了数字下变频(DDC)信号处理,输出带宽可定制。

AD9680 ADC具有数字信号处理配置能力,既支持宽带监控,又支持窄带功能。当禁用并旁路集成的DDC时,它能

支持500 MHz以上的瞬时监控带宽。使用DDC时,数字数控振荡器(NCO)可设置为将窄带中频信号数字混频至基带,然后由可配置的抽取滤波器降低数据速率;当器件以最大ADC采样速率工作时,输出数据带宽可降低至60 MHz。数字信号处理不仅可改善较低带宽下的系统SNR,还能提供可配置宽带和窄带信号链所需的灵活性。

虽然本例关注的是接收机路径,但类似的器件和集成度也适用于发射机。新型DAC集成高度可配置的插值滤波器和数字上变频功能,可与类似以上所述的宽带射频和微波器件一起使用。

上例说明了新一代宽带器件如何集成越来越多的数字信号处理和功能,以及这如何使未来系统具有动态配置能力,从而以前所未有的性能水平支持多模式工作。这与窄带和宽带操作无法共存的观点相矛盾。应当注意,以上简单的分析并未涉及某些滤波难题或功耗分析。这些因素可能会严重影响实际的设计选择和信号链架构。然而,随着更高性能宽带器件的增多,以及信号处理能力的增强,未来高度可配置、具认知能力且由软件定义的系统看起来前景广阔。

最后再举一例以便更好地阐明观点, [AD9361](#) 等集成射频IC器件实现的集成度几乎达到极致,进一步证明数字和模拟功能之间的界限越来越模糊。AD9361采用直接变频架构,集成了数字滤波和校准功能,高度灵活,支持70 MHz至6 GHz的射频输入频率和高达56 MHz的带宽。

**70 MHz 至 6 GHz 射频
捷变收发器 IC**

提供快速
原型开发
套件

10 mm × 10 mm BGA

AD9361

RX LO TX LO

ADC DAC

Data Interface

AD9361 的配置能力支持广泛的应用，包括雷达、通信、数据链路。利用数字校准和处理，该器件能够克服直接变频系统的许多典型问题，并提供前所未有的集成度和配置能力，从而进一步支持认知和多功能系统。

以前，如此高的集成度和性能是不可想象的。此外，由于无法克服随频率和温度的镜像抑制等限制因素，许多系统设计师不得不避开直接变频架构。数字和模拟功能的更高耦合度，以及现在的器件中集成的高级校准和处理功能，提供了解决之道，在提高灵活性的同时而不会显著影响性能和功耗。虽然使用由分立器件构成的窄带专用信号链仍能获得更好的性能，但差距已然在缩小。

软件定义系统的终极目标是一个射频和微波信号链适合所有应用，理想情况是收发器等单个器件可支持多功能和认知应用。实际上，所有系统离这个目标可能都有一段距离，但最新的发展和进步使得各种新半导体器件集成的功能越来越多，我们离目标已越来越接近。除了改善传统的射频性能以外，数字信号处理还能缓解和克服某些多模式挑战。可能要不了多长时间，采用单个器件或级联宽带器件的单一解决方案就能满足所有应用需求，软件定义系统最终梦想成真。



Duncan Bosworth [duncan.bosworth@analog.com]是 ADI 公司航空航天与防务业务部的营销和应用总监。在供职于 ADI 公司之前，Duncan 从事高级防务工程设计已超过 17 年。Duncan 于 2001 年获得英国约克大学的工程硕士学位，并且是英国特许工程师。



Duncan Bosworth