

集成VCO的低成本PLL支持紧凑型LO解决方案

作者: James Lee, 市场开发工程师; Paul Taylor, 产品经理, ADI公司。

新兴的PLL + VCO (集成电压控制振荡器的锁相环)技术能够针对蜂窝/4G、微波无线电军事等应用快速开发低相位噪声频率合成器, ADI集成频综产品的频率覆盖为25 MHz到13.6 GHz。

蜂窝/4G、微波无线电、测试设备和军事子系统应用的无线电设计人员依赖高质量本振(LO)来实现低BER(误码率)、低杂散输出和低相位噪声的系统级目标。所有的RF和微波通信和传感器系统,无论是基于模拟还是数字调制,都需要干净的本振信号源;无线电的容量越高,对本振信号的要求就越高。有许多不同架构可用,但产生稳定本振源的最常用方法之一是将低相位噪声电压控制振荡器(VCO)和稳定基准电压及锁相环(PLL)组合构成频率合成器。不过,

寻求最佳LO性能的设计人员必然会面临PLL/频率合成器、VCO、电荷泵及环路滤波器之间交互的诸多相关挑战,更不用说由于电路板布局和不良电源噪声所带来的问题。

ADI的核心专长是在频率生成元件方面,例如MMIC VCO、锁相振荡器(PLL)、低噪声预分频器、鉴频鉴相器(PFD)和一系列RF输入频率达13.6 GHz的双模式(小数/整数)PLL/频率合成器IC。

表1和2中列出了业界领先的ADI集成VCO的PLL产品。这些集成VCO的PLL产品涵盖从25 MHz到13.6 GHz的RF和微波频率。

表1. ADI公司集成VCO的PLL性能总结

产品编号	频率范围 (GHz)	市场应用	相位噪声(dBc/Hz) @ 10 MHz失调, 整数模式* $F_{COMP} = 50 \text{ MHz}, BW = 100 \text{ kHz}$	相位噪声(dBc/Hz) @ 1 MHz失调, 开环VCO	P_{OUT} (dBm)	RMS抖动 小数模式(f_s)	内部相位噪声 小数模式($^{\circ}$ rms)
HMC830LP6GE	0.025至3.0	RF通信系统	-114 @ 2 GHz	-141 @ 2 GHz	+5	159	0.114 @ 2 GHz
HMC832LP6GE	0.025至3.0	RF通信系统	-114 @ 2 GHz	-139 @ 2 GHz	+7	159	0.114 @ 2 GHz
HMC835LP6GE	0.33至4.1	RF通信系统	-105 @ 4 GHz	-133 @ 4 GHz	+7	<160	0.23 @ 4 GHz
HMC833LP6GE	0.025至6.0	RF通信系统	-114 @ 2 GHz	-141 @ 2 GHz	-4	159	0.11 @ 2 GHz
HMC829LP6GE	0.045至1.05	RF通信系统	-108 @ 4 GHz	-134 @ 4 GHz	+4	159	0.23 @ 4 GHz
	1.4至2.1						
HMC834LP6GE	2.8至4.2	RF通信系统	-108 @ 4 GHz	-134 @ 4 GHz	+5 +2 +2 -10	159	0.23 @ 4 GHz
	5.6至8.4						
HMC764LP6CE	7.0至8.2	RF通信系统	-102 @ 7.6 GHz	-140 @ 7.6 GHz	+15	196	0.55 @ 7.6 GHz
HMC765LP6CE	7.8至8.5	RF通信系统	-102 @ 8.2 GHz	-139 @ 8.2 GHz	+13	193	0.58 @ 8.2 GHz
HMC767LP6CE	8.45至9.55	RF通信系统	-107 @ 9 GHz	-138 @ 9 GHz	+12	93	0.3 @ 9 GHz
HMC769LP6CE	9.05至10.15	RF通信系统	-106 @ 9.6 GHz	-140 @ 9.6 GHz	+12	82	0.28 @ 9.6 GHz
HMC783LP6CE	11.5至12.5	RF通信系统	-100 @ 12 GHz	-134 @ 12 GHz	+11	181	0.78 @ 12 GHz
HMC807LP6CE	12.4至13.4	RF通信系统	-98 @ 13 GHz	-134 @ 13 GHz	+8	175	0.81 @ 13 GHz

*频率合成器的品质因数(FOM)是-221 dBc/Hz/-226 dBc/Hz (小数/整数)。

表2. ADI公司集成VCO的PLL性能总结

产品编号	频率范围 (GHz)	市场应用	相位噪声(dBc/Hz) @10kHz失调, 整数模式, $F_{COMP} = 61.44 \text{ MHz}, BW = 20 \text{ kHz}$	相位噪声(dBc/Hz) @1 MHz失调, 开环VCO	P_{OUT} (dBm)	RMS抖动 小数模式(f_s)	内部相位噪声 小数模式($^{\circ}$ rms)
ADF5355	0.05至13.6	RF通信系统	-90 @ 6.8 GHz	-132 @ 6.8 GHz	-3	150	-221
ADF4355-2	0.05至4.4	RF通信系统	-95 @ 3.4 GHz	-138 @ 3.4 GHz	+3	150	-221

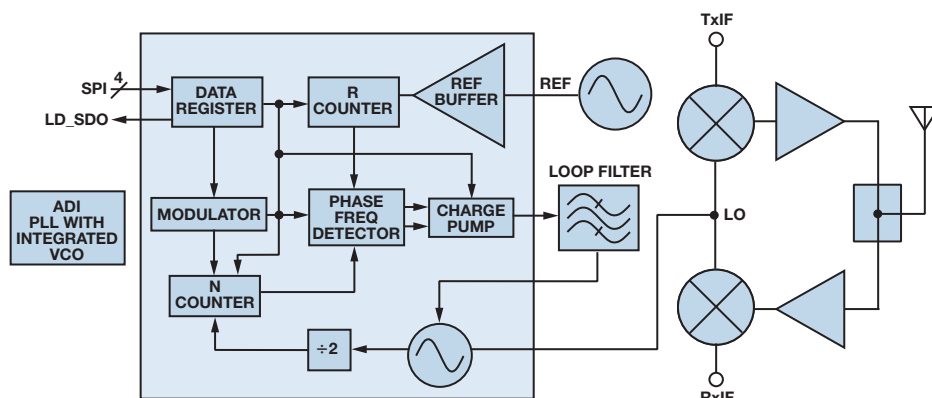


图1. ADI集成VCO的PLL产品功能框图和典型应用电路

如图1的功能框图所示，这些产品采用标准 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 和 $6\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ QFN塑料封装实现了高级小数-N频率合成器和超低噪声VCO；这种高水平的集成最大程度地减少了外部元件数。设计针对超低相位噪声商业和军事应用，包括一个极低噪声鉴频鉴相器(PFD)、一个精密控制电荷泵和一个提供超精细频率步进的高级调制器设计。

架构具有超低近载波相位噪声和低杂散，可实现较宽环路带宽以及更快的跳频和低颤噪；杂散输出足够低，因此在许多应用中不再需要价格昂贵的直接数字频率合成(DDS)基准参考源。

适合RF市场应用的集成VCO的PLL

HMC830LP6GE是面向蜂窝/4G、微波回程IF以及测试和测量应用的八个集成VCO宽带PLL产品之一。该系列的每一个产品都组合了高性能小数-N PLL/频率合成器和低噪声VCO。适合RF应用的集成VCO的PLL架构使得高性能VCO可实现五伏以下电压调谐(参见图2)。环路滤波器中不再需要运算放大器，节省了成本和电路板空间，同时改善了性能。集成VCO的PLL可以在一个极限温度下锁定，之后无需重新锁定或重新校准即可在整个温度范围内工作；该功能是高可靠性应用中所需要的，但是在有些其他竞争对手中并未提供该功能。

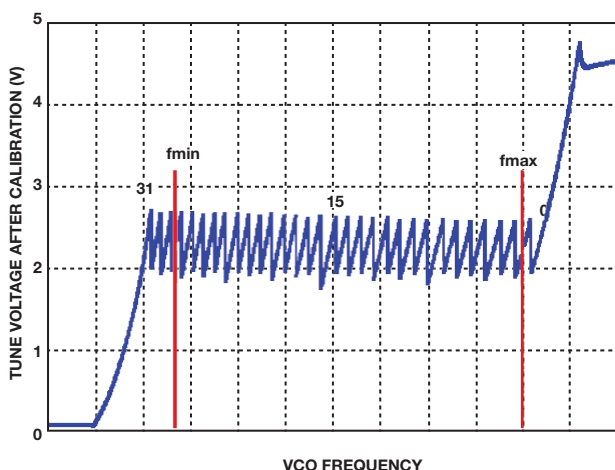


图2. 集成VCO的PLL HMC830LP6GE的调谐电压与频率的关系

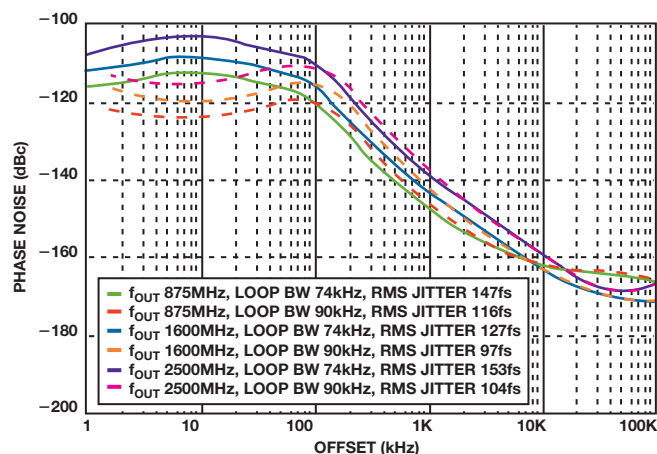


图3. 集成VCO的PLL HMC830LP6GE的SSB相位噪声与偏移频率的关系

如图3所示，这些器件具有出色的相位噪声性能，无论就带内还是远端噪声通常都优于竞争对手10 dB，而且全部无需在低杂散或低噪声模式间进行选择。100 Hz至1 MHz范围内的集成噪声通常为-55 dBc，等效于 0.1° 的rms抖动，或者 $F_{OUT} = 1\text{ GHz}$ 时278 fs rms。

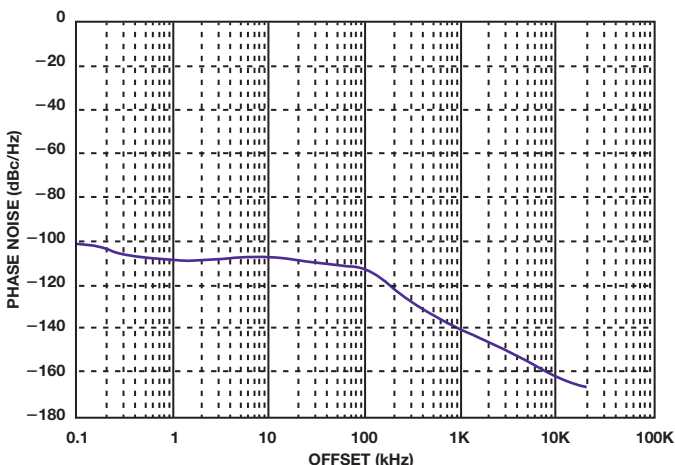


图4. 最差杂散，固定50 Mhz基准，输出频率= 2 GHz

如图4所示，HMC830LP6GE与替代集成解决方案相比有明显改善。

HMC830LP6GE频带边缘处的温度范围性能稳定，确保不会出现“压差”。

例如，HMC830LP6GE在大于20 MHz的偏移频率下产生大约5 dB近载波相位噪声和7 dB相位噪声底，与TI LMX2581相比，这两个值都比较

低。此外，HMC830LP6GE还提供优越的杂散性能，在整个频段的小数杂散低很多，整个频谱输出更干净。

ADF5355集成VCO的PLL涵盖同类最宽的频谱55 MHz至13.6 GHz，而ADF4355-2的频率范围是55 MHz至4.4 GHz。两款器件都集成了超低相位噪声VCO，对于ADF4355-2而言在3.4 GHz下产生-138 dBc/Hz (1 MHz失调)相位噪声，而ADF5355在6.8 GHz下产生-132 dBc/Hz (1 MHz失调)相位噪声。

ADF5355和ADF4355-2采用新型VCO拓扑和架构，并在开发过程中利用ADI新近获得专利的先进SiGe-BiCMOS工艺，因而具有出色的VCO相位噪声性能。在超宽带宽RF和微波通信应用中，该超低相位噪声具有改善整体系统误码率并提升数据吞吐速率的优势，可提供更佳的抗噪能力和更宽的动态范围。

ADI最新的高性价比、超宽带宽PLL频率合成器IC还具有高达125 MHz相位比较器频率和38位分辨率，可降低抖动并允许极为精细的步进大小，而相比分立式GaAs部署方案，采用高级BiCMOS工艺的集成式PLL和VCO可大幅降低封装尺寸和功耗。另外，由于单个PLL频率合成器的工作频率可在55 MHz至13.6 GHz范围内配置，因此设计人员可更为快速地对他们的系统设计进行重新配置，并减少器件库存，同时依然支持多频段。

适合微波市场应用的集成VCO的PLL

集成VCO的PLL HMC764LP6CE已针对窄带、高性能的微波通信应用进行了优化。ADI公司在业界率先推出频率高于6 GHz的集成PLL和VCO。这些产品除了提供ADI出色的微波VCO性能之外，还增加了集成式高级小数频率合成器的功能。典型应用包括微波和毫米波无线电、工业/医疗测试设备、军事通信、电子战(EW)和电子对抗(ECM)子系统。

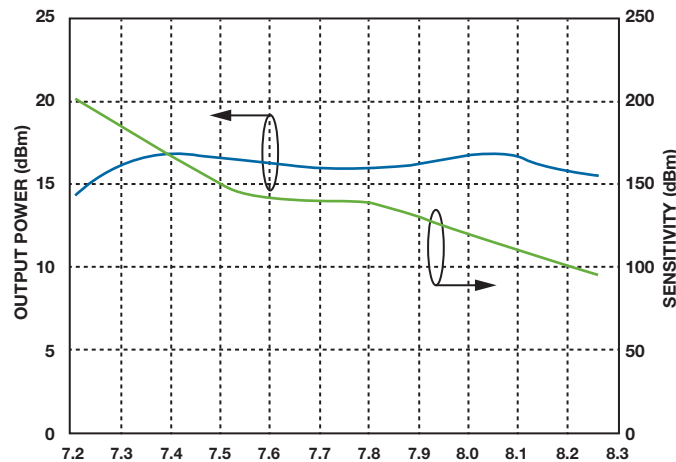


图5. 集成VCO的PLL HMC764LP6CE的调谐灵敏度和RF输出功率与输出频率的关系

如图5所示，HMC764LP6CE在其带宽内具有稳定的调谐敏感度和高达16 dBm的输出功率，因而非常适合直接驱动许多ADI高线性度、双平衡和I/Q混频器以及上变频和下变频产品的LO部分。

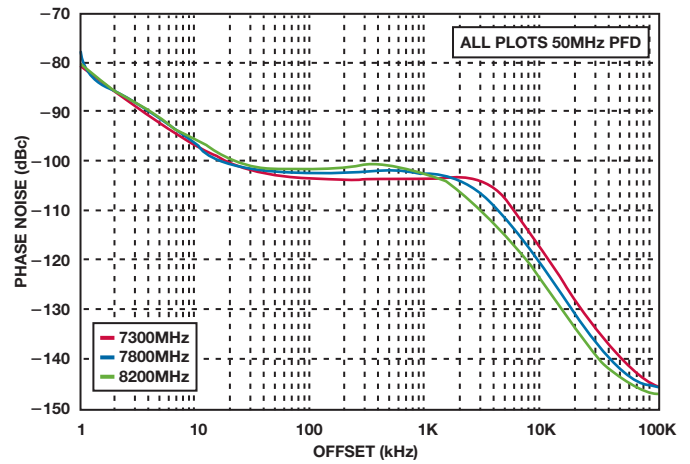


图6. 集成VCO的PLL HMC764LP6CE的SSB相位噪声与偏移频率的关系

图6显示，对于低、中和高频范围，HMC764LP6CE卓越的单边带(SSB)相位噪声性能与偏移频率的关系。测量该数据时参考频率为50 MHz，环路带宽为100 kHz，而且PFD的比较频率为50 MHz。由于采用单芯片结构，在温度范围内及机械冲击条件下，相位噪声性能也很稳定。此外，内置FSK模式使得器件可用作简单的低成本直接FM发射源。

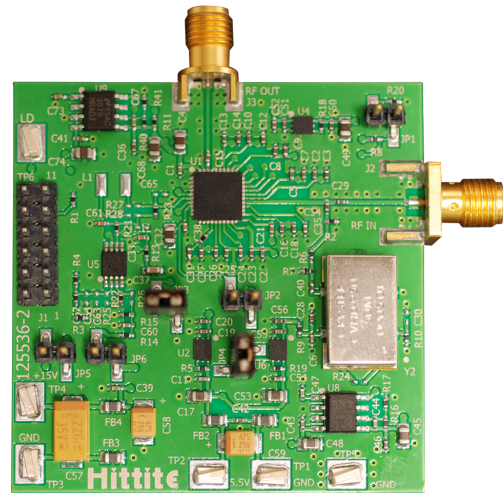


图7. 集成VCO的PLL评估PCB，包含在各设计人员套件中

即使具有这样的高级功能和高集成度，开发高性能可编程本振仍需要大量设计时间。因此，ADI开发出集成VCO的PLL参考设计人员套件，从而可以立即测量手头设计。

图7所示典型评估PCB是简单易用的通用评估套件的一部分，它可以最大程度缩短设计时间，便于快速进行原型开发。参考设计人员套件包括一个板载参考振荡器和若干稳压器，且支持通用环路滤波器配置。利用附带的软件，用户可以进行PLL编程以及访问其高级功能。完整操作指南提供逐步说明，方便用户完成快速上电并初始化评估板。本指南全面论述了评估板内使用的元件，涵盖针对外部基准电压重新配置评估板，以及实施板载可选择顺序无源或有源环路滤波器等主题。

各个参考设计人员套件均包含ADI专有的ADIsimPLL设计工具，用户可以根据自己的特定应用定制标准评估PCB环路滤波器。提供全面的基于PC的PLL控制软件，可以由USB接口用PC兼容寄存器文件对PLL进行编程。用户仅用一台PC、一台信号分析仪及若干直流电源，即可在非常短的时间内对完全锁定的本振进行评估。ADI公司技术熟练的应用工程师团队也可帮助客户快速熟悉这款独特的产品。

ADI集成VCO的PLL产品将低相位噪声、高级功能及超小尺寸组合在一起，是微波/毫米波无线电、测试设备、微波传感器、光纤通信以及军事通信和传感器等许多小尺寸应用的理想之选。

混合型频率合成器通常采用玻璃纤维基板材料，具有一个分立式VCO、一个大型谐振器和一个金属冲压盖。该装配技术会在用户系统中造成和RF接地有关的问题，还会产生令人讨厌的电气和颤噪耦合效应。与分立式混合型频率合成器/VCO配置相比，ADI集成式频率生成解决方案有助于设计人员实现稳定性能、高可靠

性及小尺寸的目标。与大型混合设计相比，ADI集成VCO的PLL的谐振器也小很多，因而具有出色的颤噪性能。这些集成VCO的PLL产品采用符合RoHS标准的QFN无引脚封装，非常适合高速大批量SMT装配线。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

ezchina.analog.com



全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心 4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

亚洲技术支持中心

免费热线电话: 4006 100 006
电子邮箱:
china.support@analog.com
技术专栏:
www.analog.com/zh/CIC
样品申请:
www.analog.com/zh/sample
在线购买:
www.analog.com/zh/BOL
在线技术论坛:
ezchina.analog.com