

使用具有精密相位控制的超宽带PLL/VCO替代YIG调谐振荡器硅片

作者: Bob Clarke和Ian Collins, ADI公司

RF和微波仪器(比如信号和网络分析仪)需使用宽带扫频信号来进行大多数基本测量。但宽带压控振荡器(VCO)通常会因最大限度扩大调谐范围所需的低Q和高 K_{VCO} (VCO的调谐灵敏度, 单位: MHz/V)而具有最糟糕的相位噪声。钇铁石榴石(YIG)调谐振荡器凭借良好的宽带相位噪声性能和一个倍频程频率调谐范围巧妙地解决了该问题, 但体积可能较大且费用昂贵, 并且它的调谐电流可以达到数百mA。当然, 该振荡器仍需外部锁相环(PLL)来闭合环路以及压控电流源来提供调谐电流。

YIG晶体球类似具有高Q值的LC电路, 其谐振频率与外加磁场成线性比例关系。通过一个倍频程或多倍频程GHz范围内的单匝回路电流可调谐该振荡器。YIG调谐振荡器的相位抖动低, 具有约2 GHz至18 GHz的宽频段特性(线性明显的调谐曲线), 是许多测量应用的普遍选择。

YIG调谐振荡器与集成PLL/VCO IC之间的性能差异正在缩小。例如, 最新推出的集成PLL/VCO IC(比如ADI的ADF4355)与其前款产品相比, 相位噪声得到极大改善。该类产品还通过设计技术解决了宽频段调谐范围问题, 比如将输出频率范围分成多个相邻的子频段, 其中每个子频段都具有专用的频段切换VCO(类似具有适中 K_{VCO} 的单个VCO)(如图1所示), 可增大调谐范围。另外, 辅助倍频器和分频器分别通过对上限频率进行倍频和对下限频率进行分频扩大了VCO的频率调谐范围。例如, ADF4355基本调谐范围(3.4 GHz至7.2 GHz)的下限扩展为54 MHz分频。每当进行 $1/2$ 分频时, 相位噪声可改善3 dB(如图2所示)。

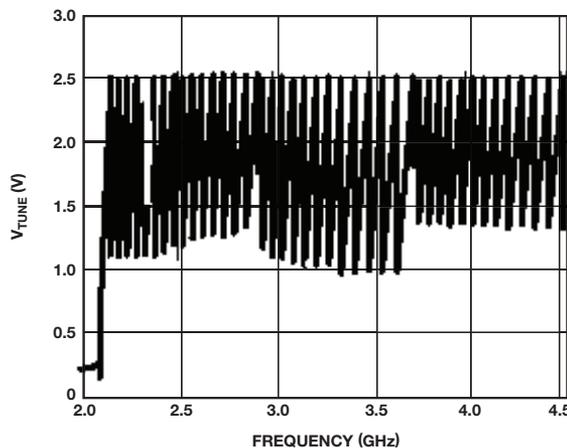


图1. ADF4355 PLL/VCO中的多频段VCO由一系列振荡器组成, 每个振荡器调谐整个频段的一部分并在整个频段范围内保持统一的 K_{VCO} 和 V_{TUNE} 。调谐电压的曲线图形似锯齿, 因为每个振荡器都通过电压可变电容和一次切换到的一个并联的固定电容器最大限度扩大每个VCO的总体调谐范围。

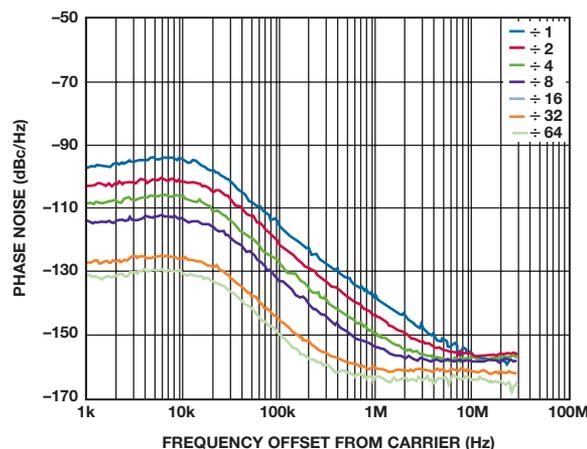


图2. 每次对输出频率进行 $1/2$ 分频时, 总体相位噪声改善3 dB。在本例中, 对3.4 GHz VCO进行64分频所得到的相位噪声要好于-130 dBc/Hz(53.125 MHz时, 偏移为10 kHz)。

不过，即使集成PLL/VCO IC与YIG调谐振荡器相比具有更宽的调谐范围，仍存在以下问题：YIG调谐振荡器的相位噪声性能与最好的集成VCO相比，仍具有12 dB的优势。即使该性能差异可通过组合多个并联的PLL/VCO(如图3所示)的输出来缩小。输出可叠加，且每次倍增并联的PLL/VCO数可使相位噪声改善3 dB。例如，两个ADF4355 PLL/VCO可使相位噪声改善3 dB，四个ADF4355 PLL/VCO可使相位噪声改善6 dB，八个ADF4355 PLL/VCO可使相位噪声改善9 dB(如图4所示)。

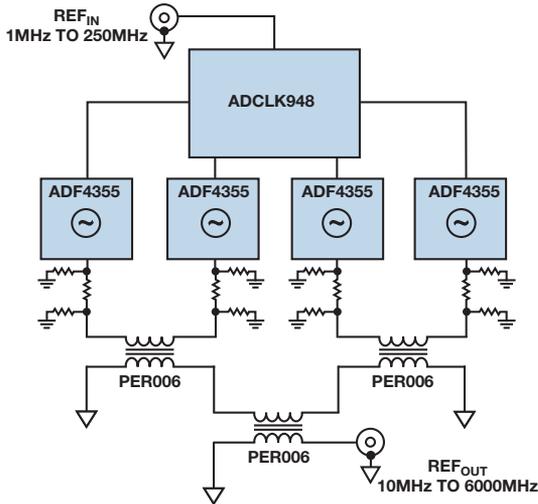


图3. 同步多个PLL/VCO并组合其输出后，每次倍增VCO数可使相位噪声改善3 dB。此处所示的四个并联的ADF4355可使总体相位噪声改善6 dB。

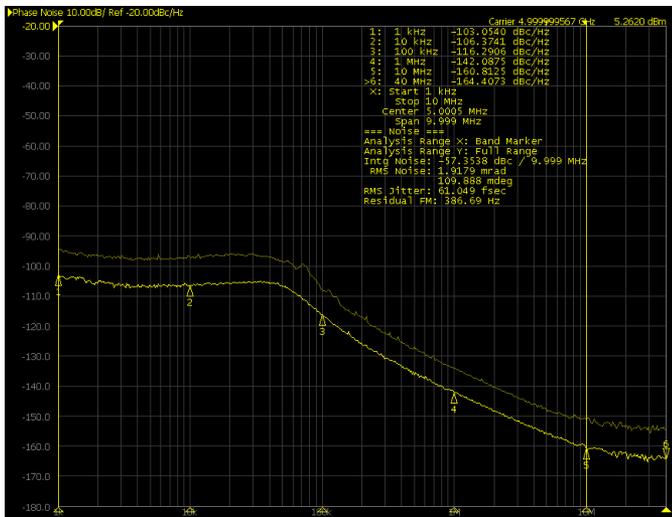


图4. 与使用单个PLL/VCO相比，锁定相位并组合八个ADF4355 PLL/VCO的输出可使总体相位噪声改善约9 dB。此处的频谱显示单个ADF4355的输出相位噪声以及八个同步ADF4355(并联工作)叠加输出的相位噪声。

叠加PLL/VCO输出的关键是调整所有振荡器的输出相位。本文所述示例使用四个并联的PLL/VCO。可以想到的是，在同一印刷电路板上放置频率相同的四个锁相环和压控振荡器会带来各种难题。其中的主要难题是隔离。PLL之间的隔离效果差可能导致注入锁定(如图5所示)现象，在这种情况下，振荡器会优先锁定至强信号或谐波，而非锁相环自身调谐电压所选的频率。两个锁定机制形成互调失真时，只要发现噪声性能和杂散信号有略微降低，

即可观察到注入锁定。如果失真更严重，该信号将更像调制载波而非连续正弦波。

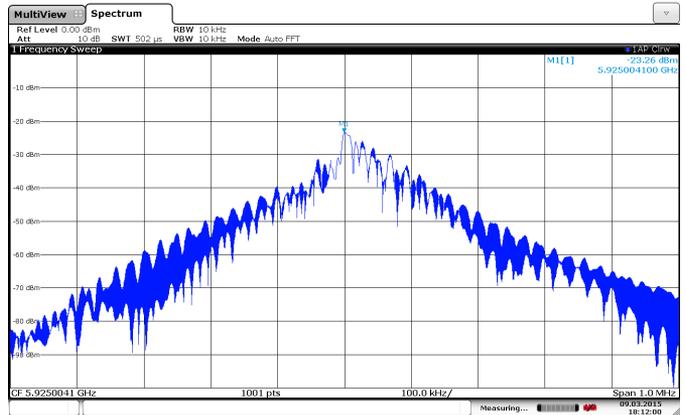


图5. VCO频率锁定到外部振荡器而非其控制电压时发生注入锁定结果是互调和相位噪声增大。

隔离需要各种技术和电路。例如，使用缓冲器(本例中为ADI ADCLK948 LVPECL 8:1时钟缓冲器)将参考信号缓冲到每个PLL(引脚REF_INA和引脚REF_INB)。此外，最大限度减少串扰需要对源端和负载引脚进行正确端接，并且尽可能靠近源端和负载端。另外还需接地的分流电容(18 pF)，以便在通过所需参考频率时衰减VCO输出的任何漏电流。

其他需要隔离的是电源线路。要实现所需隔离，每个PLL都应当通过单独的高性能稳压器(ADI ADM7150)供电，分别用于每个+5 V线路(V_{VCO} 、 V_P 和 V_{REGVCO})，而在本文中VCO电源更为重要。模拟(A_{VD})线路、数字(D_{VD})线路和输出级(V_{RF})线路也需要3.3 V，因此每条线路同样使用各自的稳压器。只要去耦良好，可将每个PLL上的3.3 V线路连接在一起。

在RF输出级上，禁用辅助输出(引脚RF_OUTB+和REF_OUTB-)并将其端接以确保不会生成任何不必要的噪声。输出RF_OUTA+端接50 Ω 负载，其互补输出引脚RF_OUTA-馈入高隔离功率合成器(Marki Microwave, PBR006SMG)。选择该合成器可确保在共用输出端提供组合信号，同时最大限度减少输出级之间的耦合。为提高隔离性，一对合成器组合两个PLL的输出，另一个合成器则叠加前两个合成器的输出。

最后，Laird的现成屏蔽体进一步隔离，以最大限度减少任何可能以电磁方式耦合VCO的杂散辐射。采取所有这些步骤可确保隔离效果最佳。

ADF4355不但包含高分辨率的24位调制器(其允许生成N分频值)，还包含允许微调RF信号相位的电路。相位值要有用，需具有重复性。这就需要使用“相位再同步”功能。

对于相位再同步的最佳描述是，这一功能可在频率更新后将小数分频器(带噪声成形功能的 Σ - Δ 调制器)置于已知状态。由于相位为相对测量值，再同步功能的定义为相位为P1的频率F1变为频率F2时以及从该频率变回频率F1时，该功能应当使相位再次变为首次测量时所得的P1。使用该功能可调节相位以最大限度减少四个PLL之间的相位差，从而获得四个PLL的最大总功率，实现最大限度的相位噪声改善。除这些步骤外，同样重要的是同时重置每个

PLL的计数器，使用芯片使能(CE)引脚进行硬件掉电和上电即可轻松实现。

工艺和器件间差异意味着，我们无法假定每个PLL之间的相位差，遵照重置和再同步步骤时，将足够接近零以最大限度增大信噪比；因此需要外部校准电路。

校准步骤很简单：打开单个PLL/VCO并将其相位定义为相位零。依次打开其他PLL/VCO，更改其输出相位，直到PLL/VCO的组合输出功率达到最大，然后打开下一个VCO并再次调谐其相位，直到PLL/VCO的组合输出功率再次达到最大。需注意的是，由于倍增了组合功率，因此在打开第二个PLL/VCO后，功率会发生最大变化；之后每个PLL/VCO的差异会减少。实际上，这意味着并联的PLL/VCO数每次倍增时，信噪比都会增大。也就是说，两个并联PLL/VCO可使信噪比增大3 dB，四个可使信噪比增大6 dB，八个可使信噪比增大9 dB。当然，功率合成器的复杂性也会倍增，因此四个PLL/VCO为实际的上限，八个和16个PLL/VCO并联的效果会递减。

需注意的是，最佳相位性能和最大输出功率一致，因此测得的功率足以确保最佳的相位噪声性能。本例中的校准器为ADI ADL6010功率检波器，用于测量组合信号的输出幅度。在此方法中，可在每个频率)调节每个PLL的相位，当组合功率达到最大值时，相位调节恒定(如图6所示)。针对其他每个PLL重复该过程，直到所有四个PLL都上电并得到调节，这样合成器输出端的信号即会达到最大值。

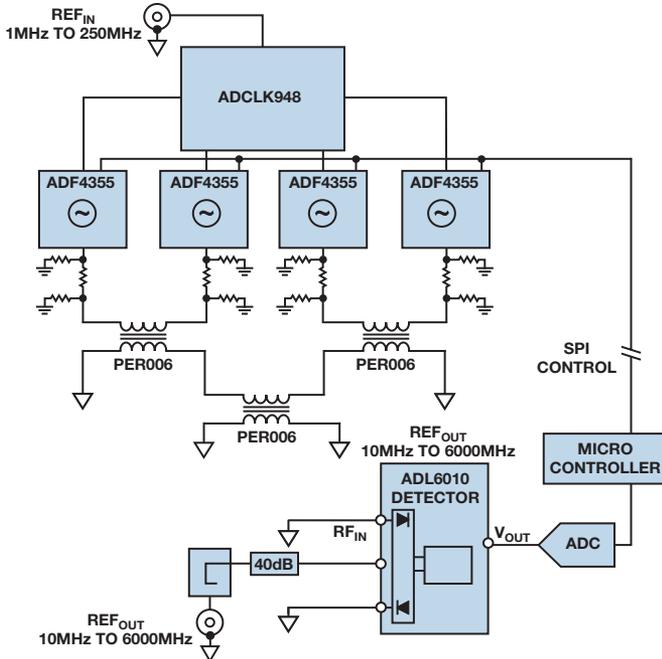


图6. 集成四个相位对准ADF4355的PLL/VCO以及ADCLK948时钟缓冲器、合成器(PBR-0006SMG)和校准电路

图7显示实际结果遵循理论，针对PLL/VCO的每次倍频具有所述的正确相位性能，相比单个PLL/VCO，四个PLL/VCO的组合相位噪声可改善6 dB。当四个PLL/VCO相位组合时，一个ADF4355 PLL (1 MHz偏移时-134 dBc/Hz)的性能可改善6 dB (1 MHz偏移时约-140 dBc/Hz)。

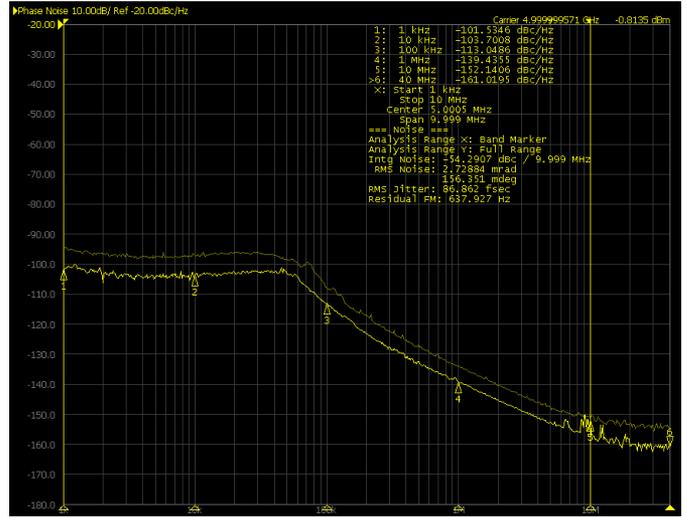


图7. 输出相位噪声曲线图，显示单个ADF4355 PLL/VCO振荡器和四个组合的ADF4355PLL/VCO振荡器的相位噪声。

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

深圳市福田中心区
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