

实现免调整VCO¹的IC (第二部分)

这一部分介绍一类新型集成电路，它们使应用于中频(IF)的固定频率压控振荡器(VCO)的设计更为紧凑、更为简单。

设计一个用于固定中间频率(IF)的VCO往往是一件令人生畏的任务。不过还好，Maxim出品的VCO IC(MAX2605-MAX2609)已使这项任务大大简化。和传统的分立器件VCO相比，Maxim的集成化方案成本更低、所需印制板空间更小。

在传统的中频VCO设计中，核心振荡器和输出缓冲器均由分立的晶体管、电阻、电容及电感构成(图1)。其中的谐振槽路是一个由设定振荡频率的电感和变容二极管、耦合电容以及反馈电容组成的网络。输出级采用电抗元件来匹配输出阻抗和特定的负载阻抗。

为保证设计的成功，这些元件参数的选择不仅仅要建立一个预期的额定振荡频率，它们还必须能够保证足够的调谐范围、适当的偏置、各种条件下的起振以及合适的输出级性能。即使是一个看起来很好的第一稿设计也会出问题，这是因为存在着许多互

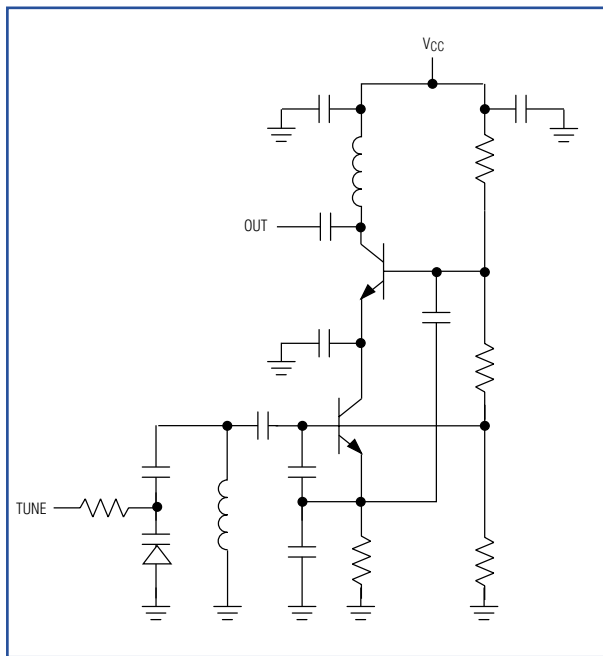


图1. 该原理图表示一个采用分立元件实现的中频VCO。

相矛盾的要求，例如电流消耗、起振裕量、频率调谐范围和相位噪声等。

分立式中频VCO设计的一个主要缺点是过大的PCB面积。需要花费大量的精力来优化布局，才有可能使整个设计容纳于6mm x 10mm的空间内。除此之外，PCB布局对于VCO性能和设计精度的影响也不可忽视。由于布局而产生的分布电容和电感对于振荡频率的影响在设计时必须加以考虑。分布元件常常造成设计频率产生难以预计的偏移，造成很大的对准误差，必须通过增加调谐范围来补偿这些误差。

MAX2605-MAX2609系列中频VCO提供了一种更好的选择方案。此5款IC专为中间频率位于45MHz至650MHz的固定频率或单频、便携式低功耗无线应用而设计。振荡器所需的大部分电路已在芯片内部集成，唯有槽路电感(确定振荡频率)需要外接。

一旦选择了正确的外接电感值，这种IC就能够保证在调谐电压范围内(+0.4VDC至+2.4VDC)的某个调谐电平下调谐至对应的频率。IC的调谐电压输入可直接由锁相环(PLL)中的环路滤波器输出来驱动。MAX2605-MAX2609工作于+2.7VDC至+5.5VDC的电源电压范围，并且不需要特别的稳压措施。这些IC采用微型、6引脚SOT23封装(图2)。

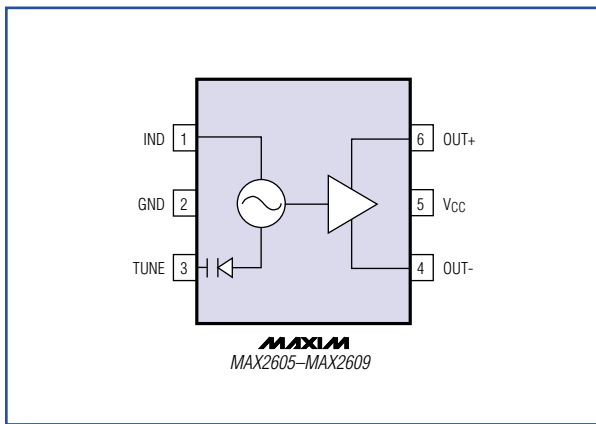


图2. MAX2605-MAX2609中频VCO IC采用6脚SOT23表贴封装，只占据最小的PCB空间。

¹ 类似文章已发表于2000年8月号的Microwaves & RF杂志。

MAX2605 的频率调谐范围为45MHz 至70MHz，距载波100kHz 处的相位噪声为-117dBc/Hz。其它几种器件的相应参数为：调谐范围70MHz 至150MHz、相位噪声距载波100kHz 处-112dBc/Hz (MAX2606)；150MHz 至300MHz、-107dBc/Hz (MAX2607)；300MHz 至500MHz、-100dBc/Hz (MAX2608)；以及500MHz 至650MHz、-93dBc/Hz (MAX2609)。

频率调谐范围、偏置、起振及其它一些振荡器特性均由 IC 内部电路控制，这就省去了一些在 VCO 设计中通常会遇到的令人头痛的难题。芯片内部集成有变容二极管和电容器，不再需要外接调谐元件，这使中频 VCO 的设计简化了许多。而且，利用一个电感量和振荡频率的关系曲线还可进一步简化外部电感的选择(参见 MAX2605-MAX2609 数据手册)。

MAX2605 系列为射频设计工程师带来了一些前所未有的好处。此类 IC 的设计目标是完全免调整的 VCO，因此不需要任何的外部调节。为了适应大多数两级转换系统对于中间频率的要求，它们被设计为具有很宽的应用频率覆盖范围。此外，它们所具有的灵活的输出接口也有助于降低中频 VCO 的成本、缩小整个设计的尺寸。

MAX2605-MAX2609 代表了一种新型的 VCO 理念，要求采用一些全新的电路技术来达到设计目的。Maxim 的设计是基于一种灵活、可靠的 Colpitts 振荡器结构。这种拓扑特别适合于集成技术，可将所有的振荡器电路元件(除了电感)集成于 IC 内部。在

单颗芯片内部整合全部振荡电路更有利于获得一个优秀的 VCO 所应具备的工作特性：正确的起振特性，宽广的频率范围，满足需要、并无需微调的调谐性能，严格控制的电流消耗，以及不受温度及电源电压影响的偏置条件。

将电感外置使 VCO 可以应用于很宽的工作频率范围。片内电容保持不变，改变外接电感值就可将振荡器槽路的谐振频率设置在适当的范围。只要外部电感满足最低的品质因数(Q)要求，相位噪声和起振条件就可得到保证(图3)。

要实现这一新的理念，需要有先进的 IC 技术再辅以一整套的有源及无源元件来支持图中所示的振荡器结构。特别是所采用的工艺技术，必须能够制作出高频晶体管、高 Q 值电容器、具有大变容比的高 Q 值压变电容二极管，以及 PNP 或 PMOS 器件。

VCO 设计中要求仔细、广泛的计算机仿真，通常需要多次反复，在诸多要求各异的性能方面进行权衡和取舍，以便确保在各种工作条件下都能够满足所有规范和要求。

最后，为保证振荡器具有足够的频率调谐范围来纠正因元件参数误差而造成的工作频率偏移，Maxim 选择了通过对器件的生产测试来提供一组严格保证的频率界限。这种频率界限保证了 MAX2605-MAX2609 振荡器方案的高端和低端频率调谐边界 (f_{MAX} 和 f_{MIN})，经过测试通过的 IC 在调谐电压 (V_{TUNE}) 为 0.4V 时保证振荡频率 (f_{OSC}) $\leq f_{MIN}$ ， $V_{TUNE} = 2.4V$

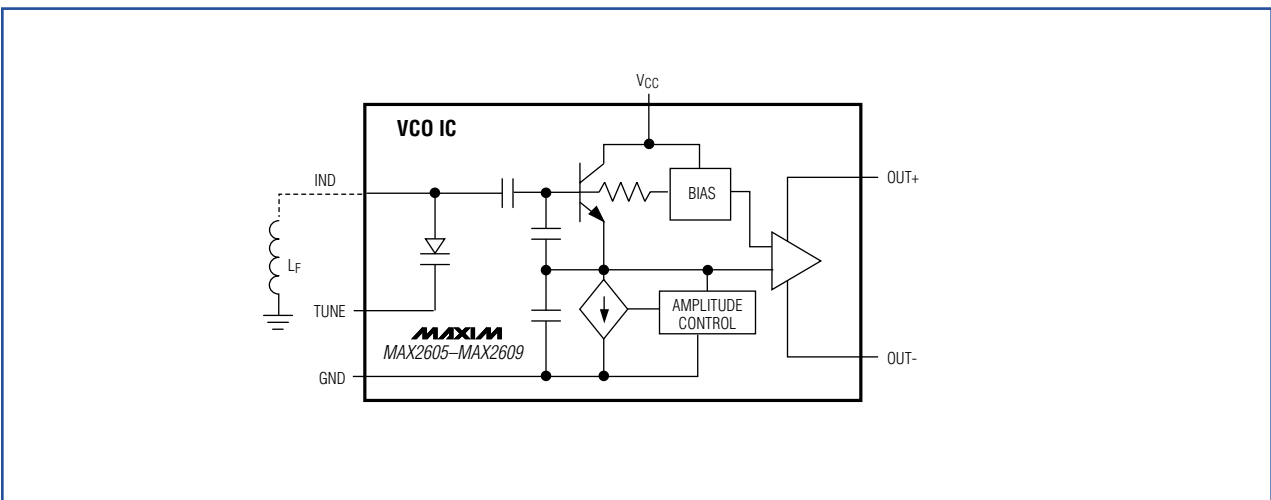


图3. 这个简化的 MAX2605-MAX2609 VCO IC 电路原理图表明只需一个外接电感就完成了谐振电路，设定了振荡频率。

时 $f_{OSC} \geq f_{MAX}$ 。假定外部电感容差为 $\pm 2\%$ ，再加上温度漂移和一个不大的设计对准误差 ($< 0.5\%$)，这种测试能够保证 VCO 总能够调谐到由电感所选定的工作频率，不再需要对外接电感值进行调节。这样就实现了完全免调整的 VCO 设计。

MAX2605–MAX2609 的应用电路已高度简化并容易理解。只需两个简单的设计步骤：

- 1) 选择合适的外部电感，设定所需要的振荡频率；
- 2) 采用阻性或电抗元件匹配输出级和负载 (图 4)。

VCO 的额定振荡频率 (f_{NOM}) 由连接于 IND 端 (引脚 1) 的有效电感量唯一决定，正如相关曲线所示 (图 5)。

期望工作频率所要求的电感值 (L_F) 未必与表面贴装 (SMT) 电感的标准参数相一致，标准值一般以接近于 1.2 倍的关系递增。要想获得所需的电感值就必须采用两只电感， L_{F1} 和 L_{F2} 。 L_{F1} 是低于期望值的最接近的标准电感。 L_{F2} 是小于 $L_F - L_{F1}$ 的最接近的标准值。 L_{F1} 应该满足最低 Q 值要求，而 L_{F2} 的要求可适当放宽，允许选用较低价格的薄膜 SMT 型电感。因为它的值仅占总电感量的不足 20%，因此这部分电感的 Q 值较低时对于总的 Q 值影响不大。

除此之外，采用 PCB 线条来弥补总电感量的小量不足也是可行的。对于 MAX2608/MAX2609 电路，有

时可以采用连接到地的一段 PCB 线条来实现 L_{F2} ，甚至比 SMT 电感更精确。一旦在 IND 端建立起需要的电感量，VCO 就能够保证在各种元件参数的变化、工作温度及电源电压等条件下调谐至期望的振荡频率。

MAX2605–MAX2609 VCO 还集成了一个差分输出放大器，连接于 VCO 振荡内核之后。这个放大级不仅为系统提供了有效的隔离，而且提供了一个十分灵活的中频接口，与混频器和/或 PLL 预分频器的连接非常方便。输出可以采用单端或差分方式，不过最大输出功率和最低谐波输出只有在差分输出模式下才可获得。两个集电极开路输出 (OUT- 和 OUT+) 都需要通过外接元件上拉至集电极电源 (V_{CC})。输出级可以用电阻或电感上拉。采用上拉电阻是构成输出接口的一个最为直观的方法，在工作于较低频率或需要的信号幅度较低时工作的很好。

当工作频率高于负载电阻/电容网络的 3dB 带宽和/或需要较高的电压摆幅或输出功率时就需采用电抗型功率匹配。匹配网络是一个由并联电感和串联电容组成的简单电路。电感由 OUT- 和 OUT+ 连接至 V_{CC} ，同时为输出级提供直流偏置，串联电容从 OUT- 和 OUT+ 连接至负载。电感和电容值根据工作频率和负载阻抗进行选择。输出应用和一般的差分输出类似。唯一的局限是需要上拉至 V_{CC} 以及对于 OUT- 和 OUT+ 端电压摆幅的限制。

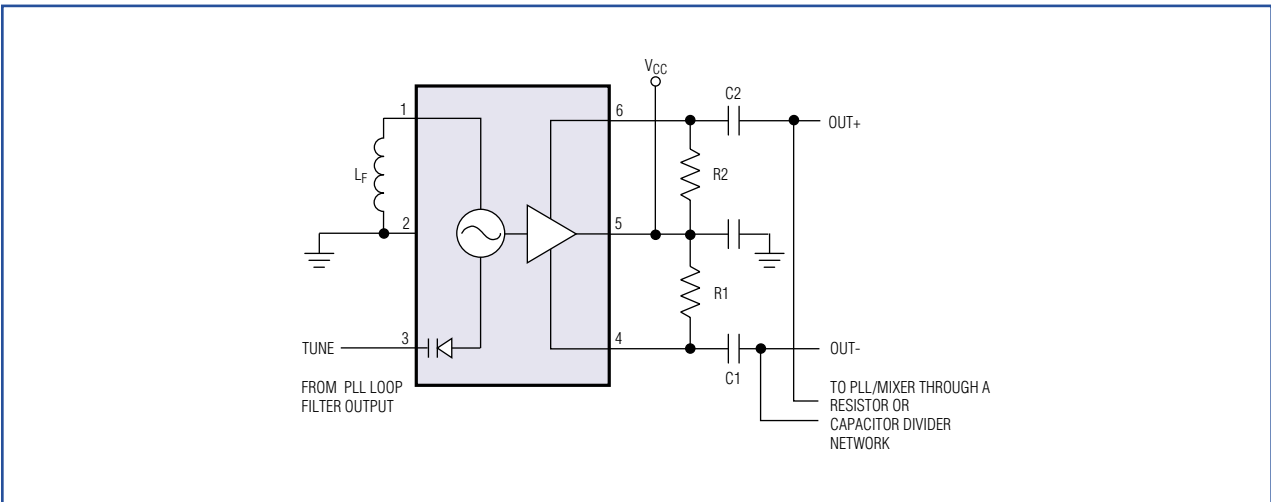


图 4. 这个简化的原理图表示 MAX2605–MAX2609 VCO IC 的典型应用。

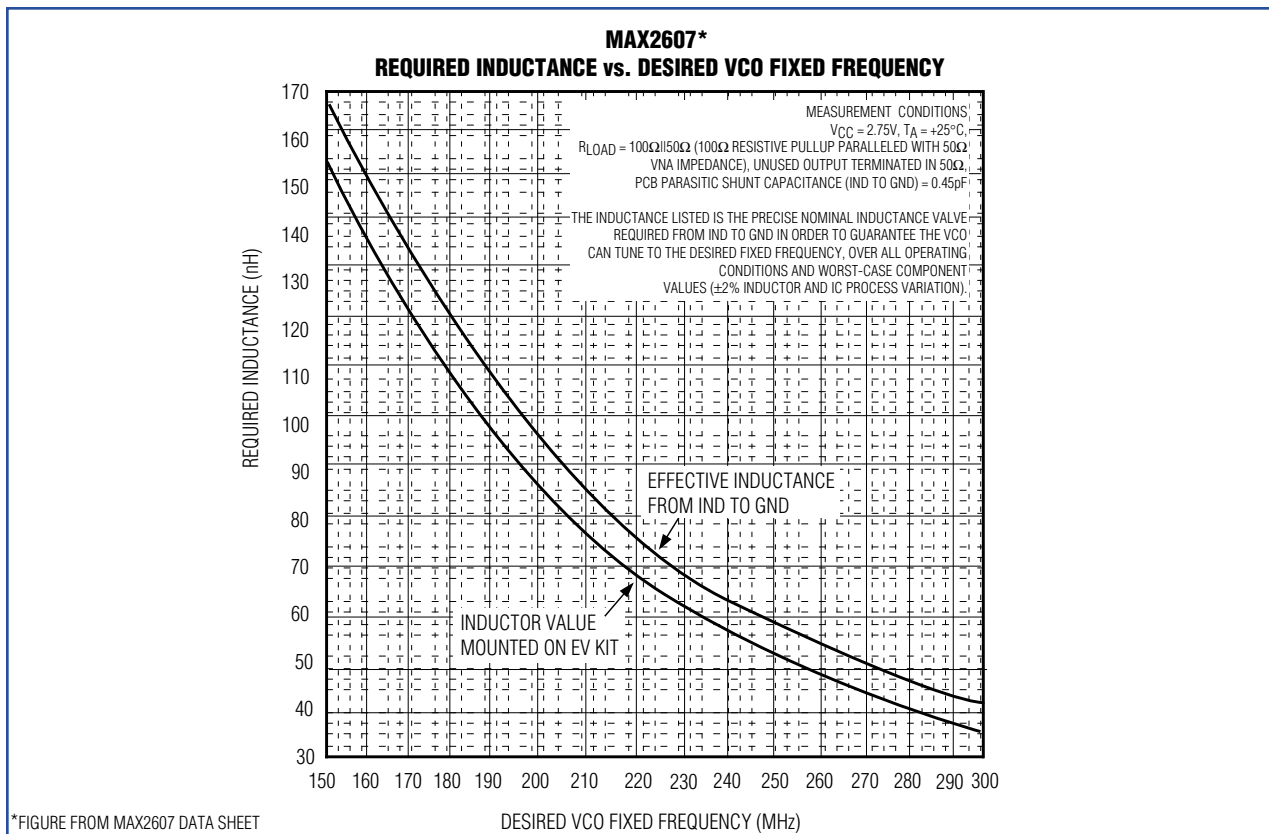


图5. 该曲线表示MAX2607 VCO IC 的振荡频率(150MHz 至300MHz) 和对应的调谐电感量(L_F) 的关系。

简单比较一下各种实现方案所需的设计时间，你就会发现差别所在。经典/分立式方案具有很高的设计难度，开发一个成功的分立式中频VCO 一般需要数周的时间。达到一个强健的、可生产的设计之前的多次反复不可避免。另一方面，MAX2605–MAX2609 将使你能够在数分钟之内完成设计，只需一个下午就可完成测试和确认！

由于MAX2605–MAX2609 解决了频率调谐范围、偏置和起振方面的难题，也就完全扫清了VCO 设计中

的主要难点。你只须根据期望的振荡频率和输出负载选择一个合适的外部电感值。这项任务更简化到只须从MAX2605–MAX2609 数据手册所提供的曲线中读取所需要的电感值。

至于元件成本，基于MAX2605–MAX2609 的方案和传统的分立式中频VCO 相近。但谈到制造成本，Maxim 器件则可以是最为低成本的中频VCO—因为需要安装的元件极少，而每个元件就可省\$0.03 的安装费用。