

利用 ADI 公司产品进行电路设计  
放心运用这些配套产品迅速完成设计。  
欲获得更多信息和技术支持，请拨打 4006-100-006 或  
访问 [www.analog.com/zh/circuits](http://www.analog.com/zh/circuits)。

### 连接/参考器件

ADF4350	集成 VCO 的小数 N 分频 PLL IC
ADL5375	宽带发射调制器
ADP150	低噪声 3.3 V LDO
ADP3334	低噪声可调 LDO

## 宽带低EVM直接变频发射机

### 电路功能与优势

本电路为宽带直接变频发射机模拟部分的完整实施方案（模拟基带输入、RF 输出）。通过使用锁相环(PLL)和宽带集成电压控制振荡器(VCO)，本电路支持 500 MHz 至 4.4 GHz 范围内的 RF 频率。PLL 中的 LO 执行谐波滤波，确保提供出色的正交精度。低噪声 LDO 确保电源管理方案对相位噪声和 EVM 没有不利影响。这种器件组合可以提供 500 MHz 至 4.4 GHz 频率范围内业界领先的直接变频发射机性能。

### 电路描述

图 1 所示电路使用完全集成的小数 N 分频 PLL IC [ADF4350](#) 和宽带发射调制器 [ADL5375](#)。ADF4350 向发射正交调制器 ADL5375 提供本振(LO)信号，后者将模拟 I/Q 信号上变频为 RF 信号。两个器件共同提供宽带基带 I/Q 至 RF 发射解决方案。ADF4350 采用超低噪声 3.3 V [ADP150](#) 调节器供电，以实现最佳 LO 相位噪声性能。ADL5375 则采用 5 V [ADP3334](#) LDO 供电。ADP150 LDO 的输出电压噪声仅为 9  $\mu$ V 均方根值，有助于优化 VCO 相位噪声并降低 VCO 推挤（相当于电源抑制）的影响。

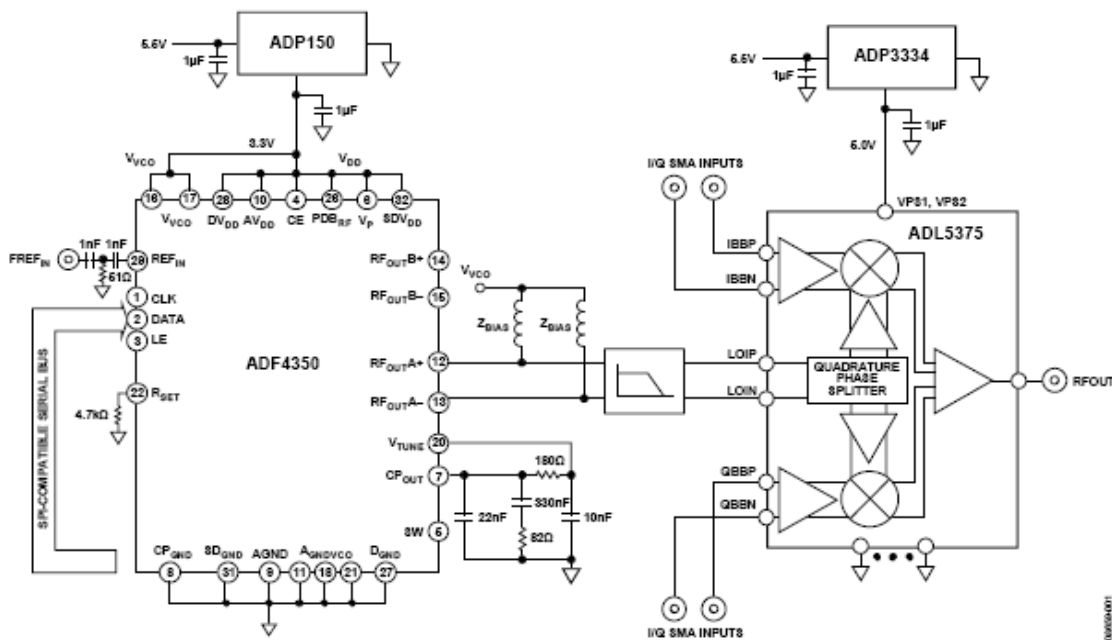


图 1. 直接变频发射机（原理示意图：未显示去耦和所有连接）

Rev.0

“Circuits from the Lab” from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any “Circuit from the Lab”. (Continued on last page)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113 ©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.



图2.直接变频发射机评估板

需要对ADF4350 RF输出进行滤波，以衰减谐波水平，使ADL5375正交产生模块的误差最小。依据测量和仿真得知，奇次谐波对正交误差的贡献大于偶次谐波；如果将奇次谐波衰减至-30 dBc以下，则可以实现-40 dBc或更好的边带抑制性能。ADF4350数据手册给出了其二次谐波(2H)和三次谐波(3H)水平，如表1所示。为使三次谐波低于-30 dBc，大约需要衰减20 dB。

表1. ADF4350 RF输出谐波水平（未经滤波）

谐波成分（二次）	-19 dBc	基波 VCO 输出
谐波成分（三次）	-13 dBc	基波 VCO 输出
谐波成分（二次）	-20 dBc	分频 VCO 输出
谐波成分（三次）	-10 dBc	分频 VCO 输出

本电路提供四种不同的滤波器选项，以适应四个不同的频段。这些滤波器针对100 Ω差分输入（ADF4350 RF输出及适当的匹配）和50 Ω差分输出（ADL5375 LOIN差分阻抗）而设计，并采用切比雪夫响应，以获得最佳滤波器滚降，但通道纹波会增多。

滤波器原理图如图1所示。这种拓扑结构十分灵活，既可以使用全差分滤波器，使器件数量最少，也可以对各路输出使用一个单端滤波器，或者综合运用以上二者。我们发现，对于较高频率(>2 GHz)，两个单端滤波器的串联电感值是全差分滤波器电感值的两倍，因而器件寄生效应的影响得以减小，可提供最佳性能。对于较低频率(<2 GHz)，全差分滤波器足以满足需要。

ADF4350输出匹配包括 $Z_{BIAS}$ 上拉电阻，电源节点的去耦电容也起到一定的作用。为实现宽带匹配，建议使用阻性负载( $Z_{BIAS} = 50 \Omega$ )，或者将一个阻性负载与 $Z_{BIAS}$ 的电抗性负载并联。后者提供的输出功率稍高，具体取决于所选的电感。请注意，可以将并联电阻作为差分元件（即100 Ω）放置在位置C1c，使电路板空间最小。表2中的c型滤波器即为这种情况。

寄生效应常常会导致截止频率低于设计值，所以滤波器的设计截止频率应为目标频段中最高频率的约1.2至1.5倍，留出一定的余量。PCB寄生效应可以在EM仿真工具中进行仿真，以提高精度。

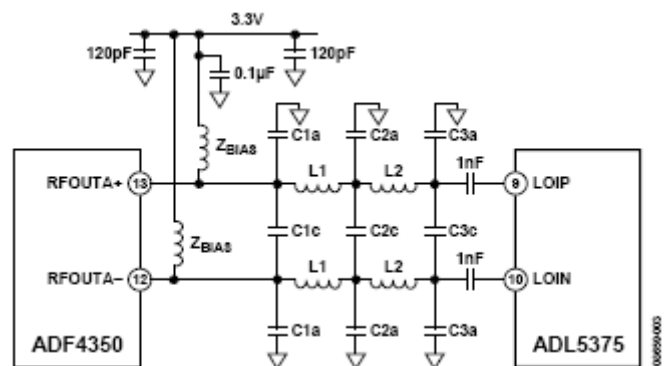


图3. ADF4350 RF输出滤波器原理图

表 2. ADF4350 RF 输出滤波器元件值 (DNI = 不插入)

频率范围(MHz)	Z <sub>BIAS</sub>	L1 (nH)	L2 (nH)	C1a (pF)	C1c (pF)	C2a (pF)	C2c (pF)	C3a (pF)	C3c (pF)
a. 500–1300	27 nH   50 Ω	3.9	3.9	DNI	4.7	DNI	5.6	DNI	3.3
b. 850–2450	19 nH    (100 Ω in position C1c)	2.7	2.7	3.3	100 Ω	4.7	DNI	3.3	DNI
c. 1250–2800	50 Ω	0 Ω	3.6	DNI	DNI	2.2	DNI	1.5	DNI
d. 2800–4400	3.9 nH	0 Ω	0 Ω	DNI	DNI	DNI	DNI	DNI	DNI

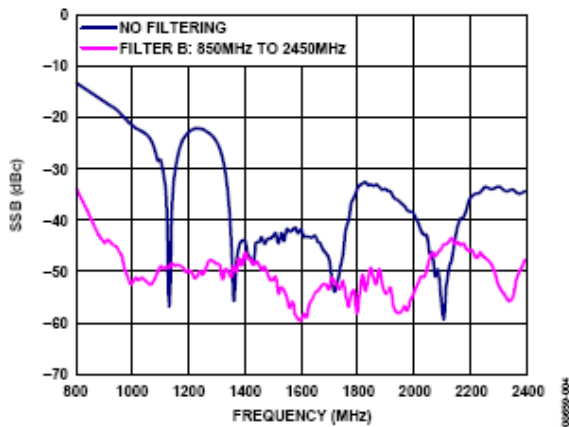


图 4. 滤波器 b 的边带抑制 (850 MHz 至 2450 MHz)

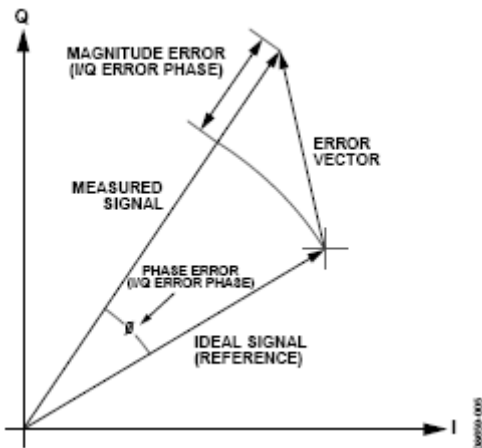


图 5. EVM 图

表 3. 单载波W-CDMA复合EVM结果: ADF4350 RF输出端有滤波器和无滤波器两种情况对比 (根据 3GPP规范测试模型 4 测量)

频率(MHz)	复合 EVM, 无 LO 滤波	复合 EVM, 有 LO 滤波, 滤波器 C	调制器输出功率(dBm)
2140	3.50%	1.80%	-7
1800	3.40%	1.50%	-7
900	3.30%	0.90%	-7

从表 2 可以看出, 在 1250 MHz 以下的较低频率时, 需要一个五阶滤波器。对于 1.25 GHz 至 2.8 GHz 的频率, 三阶滤波器便足够。对于 2.8 GHz 以上的频率, 由于此时谐波水平非常低, 足以满足边带抑制要求, 因此无需滤波。

对于使用滤波器 b (850 MHz 至 2450 MHz) 的电路, 其边带抑制性能与频率的关系如图 4 所示。此次扫频的测试条件如下: 基带 I/Q 幅度 = 1 V 峰峰值差分正弦波, 与 500 mV (ADL5375-05) 直流偏置正交; 基带 I/Q 频率 (f<sub>BB</sub>) = 1 MHz。

误差矢量幅度 (EVM) 衡量数字发射机或接收机的性能质量, 反映幅度和相位误差所导致的实际星座点与理想位置的偏差。EVM 图如图 5 所示。

表 3 给出了有滤波器和无滤波器两种情况下的 EVM 测量结果。本例中, 基带 I/Q 信号是利用 3GPP 测试模型 4, 使用 Rhode & Schwarz AMIQ (数字输出) 和外部 16 位 DAC 板 (AD9788) 而产生。另外还使用了滤波器 b。图 6 为 EVM 测试设置的框图。

邻道泄漏比 (ACLR) 衡量相邻通道的功率与主通道功率的关系, 用 dBc 表示。

LO 相位噪声和调制器的线性度是 ACLR 的主要影响因素。ACLR 测试设置与 EVM 测试设置大致相同, 只不过同轴滤波器位于 AD9788 DAC 板的 I/Q 输出端, 以便减少混叠产物。

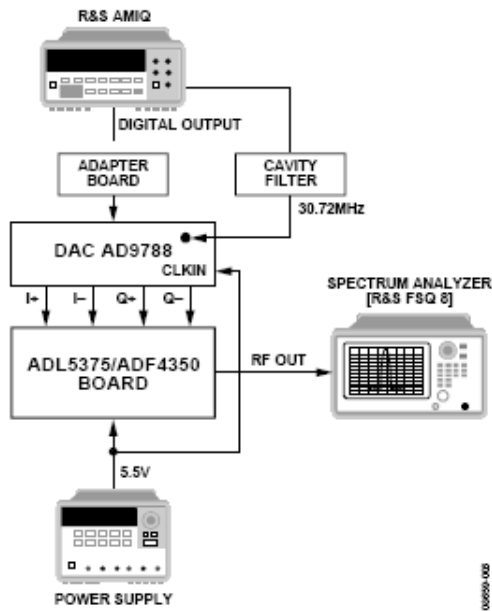


图 6. EVM 测量设置（原理示意图）

以差分方式驱动 ADL5375 LO 输入，除了可以改善边带抑制和 EVM 之外，还具有性能优势。与单端 LO 驱动相比，调制器 OIP2 性能可以提高 2 dB 至 5 dB。请注意，多数外部 VCO 仅提供单端输出，因此 ADF4350 采用差分输出优于使用外部 VCO。

图 7 显示使用 850 MHz 至 2450 MHz 滤波器（滤波器 b）的边带抑制结果。

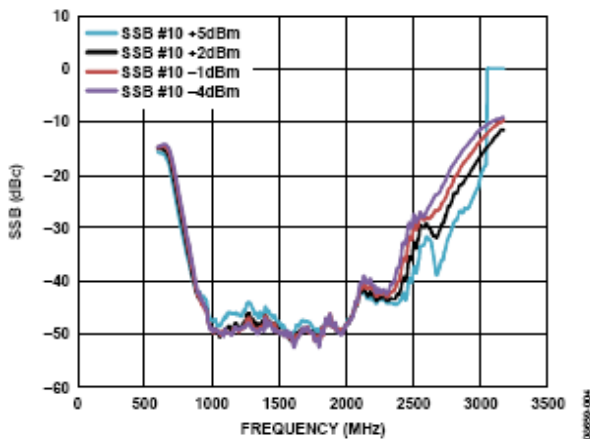


图 7. 850 MHz 至 2450 MHz 滤波器 b 的边带抑制结果

### 常见变化

当单个滤波器无法完成所需的宽带操作时，可以使用 ADF4350 的辅助输出，在两种类型的滤波器之间切换。图 8 显示了这种情况：使用一个 RF 双刀四掷开关 (DP4T) 选择滤波器 1 或滤波器 2 的差分输出。

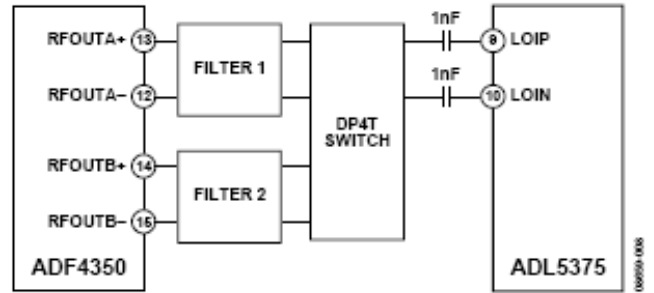


图 8. 利用 ADF4350 的主输出和辅助输出实现滤波器切换的应用图

### 进一步阅读

- [ADIsimPLL Design Tool](#)
- [ADIsimPower Design Tool](#)
- [ADIsimRF Design Tool](#)
- [AN-0996 Application Note. The Advantages of Using a Quadrature Digital Upconverter \(QDUC\) in Point-to-Point Microwave Transmit Systems. Analog Devices.](#)
- [AN-1039 Application Note. Correcting Imperfections in IQ Modulators to Improve RF Signal Fidelity. Analog Devices.](#)

### 数据手册和评估板

- [ADF4350 Data Sheet](#)
- [ADF4350 Evaluation Board](#)
- [ADL5375 Data Sheet](#)
- [ADL5375 Evaluation Board](#)
- [ADL5375/ADF4360 Direct Conversion Receiver Evaluation Board](#)
- [ADP150 Data Sheet](#)
- [ADP3334 Data Sheet](#)

### 修订历史

1/10—Revision 0: Initial Version

(Continued from first page) "Circuits from the Lab" are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the "Circuits from the Lab" in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the "Circuits from the Lab". Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, "Circuits from the Lab" are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any "Circuits from the Lab" at any time without notice, but is under no obligation to do so. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
CN08659sc-0-1/10(0)



[www.analog.com](http://www.analog.com)