

Circuits from the Lab™
Reference Circuits

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。

连接/参考器件

ADL5386

50 MHz~2200 MHz 正交调制器,
集成检波器与可变电压衰减器
(VVA)

AD5621

2.7 V至 5.5 V、12 位 nanoDAC®,
内置 SPI 接口

利用正交调制器 ADL5386 和 12 位 DAC AD5621 实现对 I/Q 调制器输出功率的精密控制

电路功能与优势

本电路提供 I/Q 调制数据的上变频以及 RF/IF 载波电平的自动功率控制。输出功率由一个 12 位 DAC 设置, 可在最高 30 dB

的线性 dB 范围内精确设置。在 -40°C 至 +85°C 范围内, 通常温度稳定性达到 ±0.2 dB。图 1 显示输出频率为 350 MHz 时的工作电路图; 不过, 本电路将在 50 MHz 至 2.2 GHz 频率范围内工作。

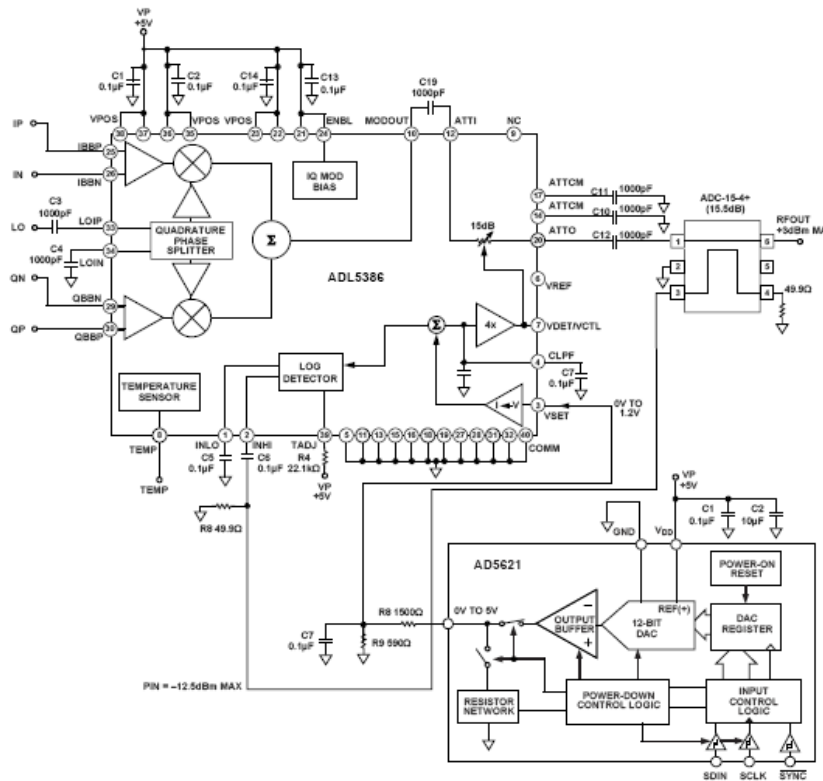


图 1. 系统框图 (原理示意图)

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
Fax: 781.461.3113 ©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

正交调制器ADL5386 由三个不同的功能模块组成：I/Q调制器、电压可变衰减器(VVA)和对数RF功率检波器/控制器（对数放大器）。I/Q调制器的输出(MODOUT)交流耦合至VVA的输入(ATTI)。VVA的一部分输出信号(ATTO)耦合返回至对数放大器的输入，这可以通过功率分路器或定向耦合器来实现。本例使用Mini-Circuits ADC-15-4+定向耦合器。检波器的最大RF输入功率不应超过约-10 dBm，若超过此功率水平，对数放大器的传递函数会丧失一定的线性度和温度稳定性。在所例子中，VVA/调制器所需的最大输出功率为+3 dBm。定向耦合器在 350 MHz时的耦合系数为 15.5 dB，这样对数放大器的最大输入功率水平为-12.5 dBm，远低于推荐的最大值。

检波器的输入信号产生一个电流，并从求和节点(引脚 CLPF)汲取到检波器模块中。DAC 的设定点电压则施加于 VSET 引脚。该电压在内部转换为电流，然后送入同一求和节点。如果这两个电流不相等，净电流将流入或流出引脚 4 上的 CLPF 电容。这将改变 CLPF 节点上的电压，进而改变 VDET/VCTL 引脚上的电压。该引脚与 VVA 的衰减控制引脚内部相连。因此，引脚 7 (VDET/VCTL)上的衰减控制电压会增大或减小，直到 ISET 与 IDET 电流相匹配为止。达到此均衡状态时，CLPF(因而 VVA 的控制电压节点)上的电压保持稳定。此时，VVA/调制器的所需输出功率与 DAC 的设定点电压相匹配。

图 2显示了由此得到的闭环传递函数，即 350 MHz时的输出功率 (ATTO上)与AD5621 DAC的设定点码之间的关系。在大约 30 dB范围内，RF输出功率与DAC的电压之间存在控制良好的线性dB关系。相比之下，VVA的开环传递函数则未得到良好控制或呈线性dB关系（请参考ADL5386 数据手册，图 23、24、26 和 27）。

为涵盖所示的输出功率范围，要求对数检波器/控制器ADL5386 的VSET 输入端设定点电压范围为 0.6 V 至 1.3 V。12 位 DAC AD5621 采用 I/Q 调制器 ADL5386 的同一+5 V 电源供电，可提供 0 V 至 5 V 的更大输出摆幅。因此，有必要

缩小 DAC 输出电压，从而优化控制分辨率。为将 5 V 缩小到 1.3 V，本电路选用一个 1500 Ω/590 Ω 电阻分压器。这可确保 DAC 的负载不是过大（标称额定负载为 2 kΩ），但电阻也足够小，使得 ADL5386 的 VSET 输入端阻抗(33 kΩ)不会影响分压。此电路上还添加了一个旁路电容，用来滤除 DAC 的宽带噪声和突波。

图 2同时显示了传递函数的dB线性度曲线。线性度利用POUT数据和DAC码，通过测量传递函数的斜率和截距来计算。计算时采用大约 0 dBm至-20 dBm输出功率范围内的数据。

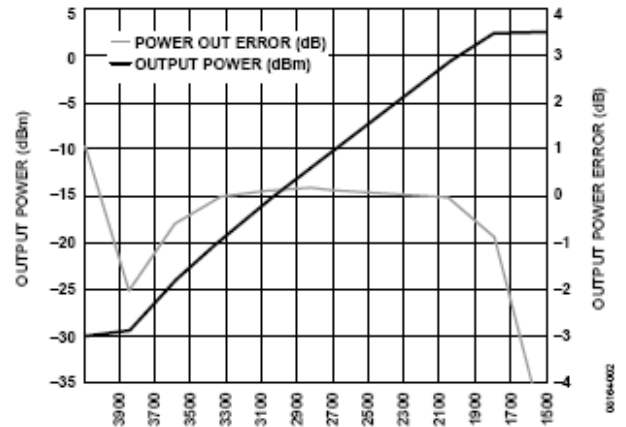


图 2. 输出功率传递函数和线性度误差

由此得到一个较为理想的传递函数：

$$P_{OUT_IDEAL} = \text{斜率} \times \text{CODE}_{SET} + \text{截距}$$

dB 误差通过下式得出：

$$\text{误差(dB)} = P_{OUT} - P_{OUT_IDEAL}$$

为获得图 2所示的精密输出功率控制，本电路必须在设备生产过程中进行校准。典型的校准程序如下所述：

1. 将一个 RF 功率计与 ATTO 引脚相连。RF 功率也可以在后续级的输出端测量。
2. 将基带调制信号施加于 I 和 Q 输入。该信号一般由一个双通道 DAC 提供。该信号的电平不是很重要，但应当足够大，使得 VVA 处于或接近最小衰减时，可以达到所需的最大输出功率。

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
Fax: 781.461.3113 ©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

- 假设已选择适当的耦合系数，这样，当系统提供最大输出功率时，检波器输入端的最大功率约为-12 dBm；在这种情况下，将一个码施加于DAC，可提供与该输入电平相对应的VSET电压。若要确定VSET与检波器输入功率之间的关系，请参考ADL5386 数据手册的图 29 至图 32。
- 用RF功率计测量并记录输出功率(P_{HIGH})。记录产生该功率水平的DAC码($\text{CODE}_{\text{HIGH}}$)。
- 现在，通过增大 VSET，将输出功率大约降至所需输出功率范围的最低值(-25 dBm, 设定点电压约为 1.25 V)。
- 再次用RF功率计测量输出功率(P_{LOW})，并记录对应的DAC码(CODE_{LOW})。
- 计算 POUT 与 VSET 传递函数的斜率和 Y 轴截距：

$$\text{斜率} = (P_{\text{HIGH}} - P_{\text{LOW}}) / (\text{CODE}_{\text{HIGH}} - \text{CODE}_{\text{LOW}})$$

$$\text{截距} = P_{\text{HIGH}} - (\text{SLOPE} \times \text{CODE}_{\text{HIGH}})$$
- 计算得出的斜率和截距应存储在设备的非易失性 RAM 中。
- 当设备处于工作状态时，提供理想输出功率(P_x)所需的码可通过下式计算：

$$\text{CODE}_x = (P_x - \text{截距}) / \text{斜率}$$

必须注意，这种算法并不依赖于校准期间设置的精密功率或电压水平。只要使用检波器线性工作范围内的功率和电压水平执行校准，那么重要的就是记录 DAC 码并用 RF 功率计精确测量 RF 输出功率。

或者，如果该电路旨在用来提供单一、稳定的输出功率，以补偿 I/Q 调制器在不同器件之间的基带信号水平和增益差异，则可以采用更简单的校准程序：

- 用 DAC 调整 VSET 电压，直到用 RF 功率计精确测出所需的输出。
- 记录并存储由此得到的DAC码(CODE_1)。
- 当设备在现场工作时，只需将 CODE_1 载入 DAC。

本电路通过连接下列评估板来实现：

- ADL5386 评估板
(产品型号：ADL5386-EVALZ)
- Mini-Circuits评估板(产品型号：TB-05)以及Mini-Circuits定向耦合器ADC-15-4
- AD5621 评估板
(产品型号：EVAL-AD5621EBZ)

AD5621 评估板附送软件，利用该软件并通过计算机的 USB 端口可轻松对其编程。ADL5386 和 AD5621 评估板分别使用 SMA 和 SMB 连接器，因此 DAC 与 VSET 的互连可通过线夹引线实现。或者，也可以使用 SMA 转 SMB 适配器。

本电路必须构建在具有较大面积接地层的多层电路板上。为实现最佳性能，必须采用适当的布局、接地和去耦技术（请参考教程MT-031—“实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的迷团”，以及教程MT-101—“去耦技术”）。

常见变化

不需要直接将定向耦合器放在 VVA 的输出端。例如，如果在信号链中 I/Q 调制器之后接一个滤波器和/或放大器，则耦合器可以放在这些器件之后，从而消除这些器件之间的差异和温度漂移所引起的 RF 功率不确定性。由于 I/Q 调制器 ADL5386 的片内检波器在最高 2.2 GHz 及以上的频率表现出色，因此也可以将上变频混频器置于“环路内”。如果受控制的 RF 功率水平高于推荐的最大检波器输入水平加上耦合系数，则应在耦合器与检波器之间做进一步衰减处理。

在上例中，相对较大的滤波器电容(CLPF)设置电路对输入功率变化或设定点电压的响应时间。若要缩短响应时间，可以降低 CLPF 的值。但是，如果环路变得非常快，足以响应输出信号的调制包络，则降低此电容的值会引起信号失真。此外，降低滤波器电容还会提高从检波器转移到 VVA 的宽带噪声，进而会产生较高的输出本底噪声。

可供选择的其它DAC产品有很多。[AD5620](#)是一款单通道、12位DAC，内置片内基准电压源。如果电路中的其它点需要额外的控制电压，则可以选择双通道、12位DAC [AD5623R](#)或四通道DAC [AD5624R](#)。如果需要I²C串行接口，则可以使用[AD5622](#)（单通道、12位）、[AD5627R](#)（双通道、12位）或[AD5625R](#)（四通道、12位）。

另外，[AD7294](#)也值得考虑。除提供四路12位DAC输出外，这款子系统芯片还含有4个非专用ADC通道、2路高端电流检测输入和3个温度传感器。电流和温度测量结果经过数字化转换后，可通过I2C接口读取。如果系统（例如无线电与高功率放大器组合单元）中需要大量其它的控制和监测点，则可以用这样的器件来控制ADL5386的AGC输入。

进一步阅读

[MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND."* Analog Devices.](#)

[MT-077 Tutorial, *Log Amp Basics.* Analog Devices.](#)

[MT-078 Tutorial, *High Frequency Log Amps.* Analog Devices.](#)

[MT-079 Tutorial, *Analog Multipliers.* Analog Devices.](#)

[MT-080 Tutorial, *Mixers and Modulators.* Analog Devices.](#)

[MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques.* Analog Devices.](#)

数据手册和评估板

[AD5621 Evaluation Board.](#)

[AD5621 EVAL-AD5621EBZ Evaluation Board.](#)

[ADL5386 Data Sheet.](#)

[ADL5386-EVALZ Evaluation Board.](#)

修订历史

7/09—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.