

## 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位数模转换器(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。

### 电路描述

表1. 连接/参考器件

产品	说明
ADL5386	集成检波器和VVA的50 MHz至2200 MHz正交调制器
AD5621	集成SPI接口的2.7 V至5.5 V、12位nanoDAC®

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)。

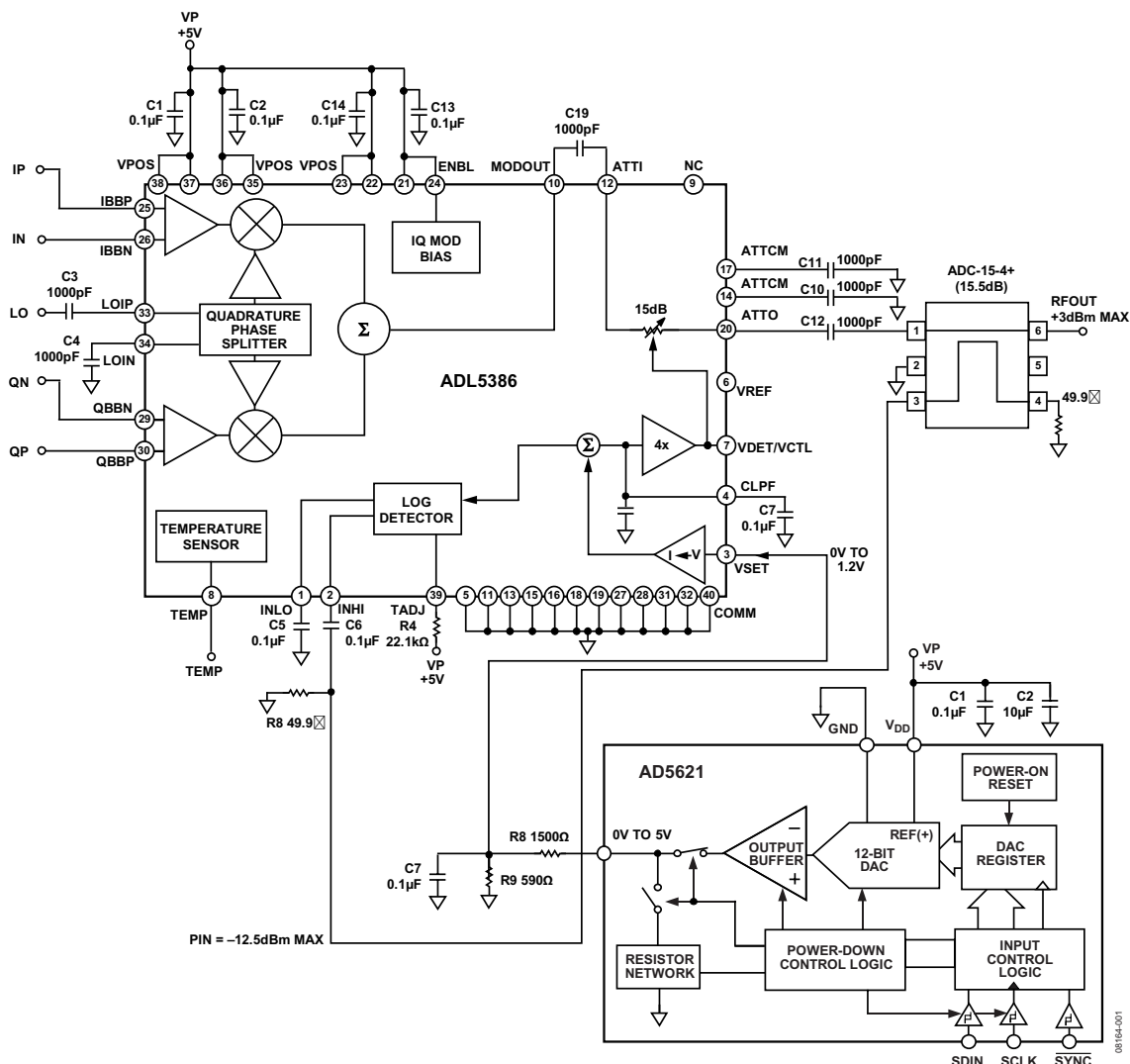


图1. 系统框图(原理示意图)

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。在所示例子中，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。这样可以确保DAC负载不会过重(标称负载为2 kΩ)，但同时该电阻又足够低，使得ADL5386(33 kΩ)上的VSET输入阻抗不影响分压。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 $P_{OUT}$ 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。

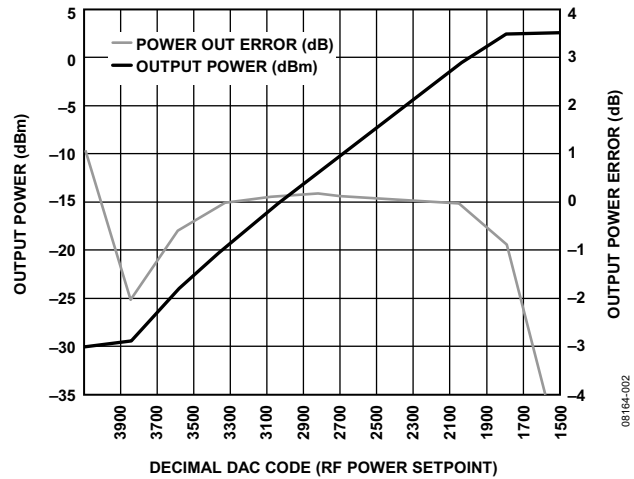


图2. 输出功率传递函数和线性度误差

由此得到一个较为理想的传递函数：

$$P_{OUT\_IDEAL} = \text{斜率} \times CODE_{SET} + \text{截距}$$

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，但必须足够大，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。
3. 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数据手册中的图29至图32。
4. 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( $CODE_{HIGH}$ )。
5. 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)。
6. 再次用RF功率计测量输出功率( $P_{LOW}$ )，并记录对应的DAC码( $CODE_{LOW}$ )。

7. 计算 $P_{OUT}$ 与VSET传递函数的斜率和Y轴截距:

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

$$\text{截距} = P_{HIGH} - (\text{SLOPE} \times CODE_{HIGH})$$

8. 计算得出的斜率和截距应存储在设备的非易失性RAM中。

9. 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:

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

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:

1. 用DAC调整VSET电压, 直到用RF功率计精确测出所需的输出。
2. 记录并存储由此得到的DAC码( $CODE_1$ )。
3. 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(ADL5386-EVALZ)
- Mini-Circuits评估板(TB-05)以及Mini-Circuits定向耦合器(ADC-15-4)
- AD5621评估板(EVAL-AD5621EBZ)

EVAL-AD5621EBZ附送软件, 利用该软件并通过PC的USB端口可轻松对其编程。由于ADL5386-EVALZ和EVAL-AD5621EBZ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。

该电路必须构建在具有较大面积接地层的多层印刷电路板(PCB)上。为实现最佳性能, 必须采用适当的布局、接地和去耦技术(参见指南MT-031: 实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团, 以及指南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。这样做可以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I<sup>2</sup>C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)。

此外, 还可考虑使用AD7294。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I<sup>2</sup>C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。

# AN-1237

## 了解详情

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 Evaluation Board (EVAL-AD5621EBZ).

ADL5386 Data Sheet.

ADL5386 Evaluation Board (ADL5386-EVALZ).

## 修订历史

**2013年5月—修订版0至修订版A**

文档标题从CN-0070更改为AN-1237 ..... 通篇

**2009年7月-修订版0：初始版**