

### Circuits from the Lab<sup>®</sup> Reference Designs

Circuits from the Lab<sup>®</sup> 参考设计是经过测试的参考设计，有助于加速设计，同时简化系统集成，帮助解决当今的模拟、混合信号和 RF 设计挑战。如需更多信息和/或技术支持，请访问：[www.analog.com/cn/CN0555](http://www.analog.com/cn/CN0555)。

#### 连接/参考器件

ADL5523	400 MHz 至 4000 MHz 低噪声放大器
ADG901	0 Hz 至 4.5 GHz、40 dB 关断隔离(1 GHz)、17 dBm P1dB (1 GHz) SPST 开关
ADL5904	提供包络阈值检测功能的 DC 至 6 GHz、45 dB TruPower 检波器
LT3042	20 V、200 mA、超低噪声、超高 PSRR RF 线性稳压器
ADM7170	6.5 V、500 mA、超低噪声、高 PSRR、快速瞬变响应 CMOS LDO
LTC6991	TimerBlox <sup>®</sup> 自恢复低频率振荡器

## 具有过载保护功能的 USB 供电 433.92 MHz RF 低噪声放大器接收器

### 评估和设计支持

- ▶ 电路评估板
  - ▶ [CN0555 电路评估板\(EVAL-CN0555-EBZ\)](#)
- ▶ 设计和集成文件
  - ▶ [原理图、布局文件、物料清单](#)

### 电路功能与优势

国际电信联盟(ITU)将433.92 MHz工业、科学和医学(ISM)射频频段分配给1区使用，该区域在地理上由欧洲、非洲、俄罗斯、蒙古和阿拉伯半岛组成。尽管最初旨在用于无线电通信之外的应用，但多年来无线技术和标准的进步使得ISM频段在短距离无线通信系统中颇受欢迎。

ITU 1 区的运营商无需为使用433.92 MHz频段获得许可，常见应用包括软件定义无线电、医疗设备和重型机械的工业无线电信控系统。在美国，433.92 MHz频段属于70 cm业

余无线电频段（频率范围420 MHz至450 MHz），由获得许可的业余无线电台使用。此频段也常用于低功耗、短距离应用，例如车库门遥控开关、耳机、婴儿监视器，以及电源开关和灯光调节器。

图1所示电路是一个双级RF低噪声放大器(LNA)，针对433.92 MHz ISM频段中的接收器信号链进行了优化。在中心频率，电路产生大约40.5 dB的增益。RF输入和输出端口采用50  $\Omega$  阻抗匹配设计，支持电路与标准50  $\Omega$  系统之间的直接连接。其输入未经滤波，保持1.4 dB噪声系数，但输出端配有SAW滤波器，会消减带外干扰。

该电路中包含高速过载检测器和关断开关，用于保护连接至接收器系统的下游敏感设备。当RF功率水平下降到可接受范围内时，接收器系统也会自动恢复正常运行。RF输入和输出是标准SMA连接器，整个设计由一个微型USB连接器供电。

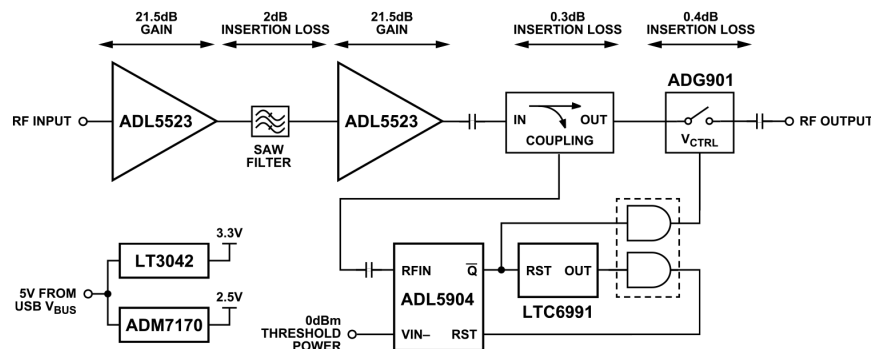


图 1. CN0555 简化功能框图

## 电路描述

## RF 放大器级

CN0555在其RF信号路径中使用两个ADL5523低噪声放大器。ADL5523是一款高性能砷化镓(GaAs)假晶高电子迁移率晶体管(pHEMT) RF低噪声放大器,提供高增益和低噪声系数。图2显示该器件的典型S参数性能,在整个频率范围内,其典型增益为21.5 dB,回波损耗高于10 dB。

ADL5523的典型噪声系数为0.8 dB, 1 dB压缩点(P1dB)为21 dBm, 三阶交调点(OIP3)为34 dBm。将两个ADL5523放大器级联,以实现40 dB整体增益。

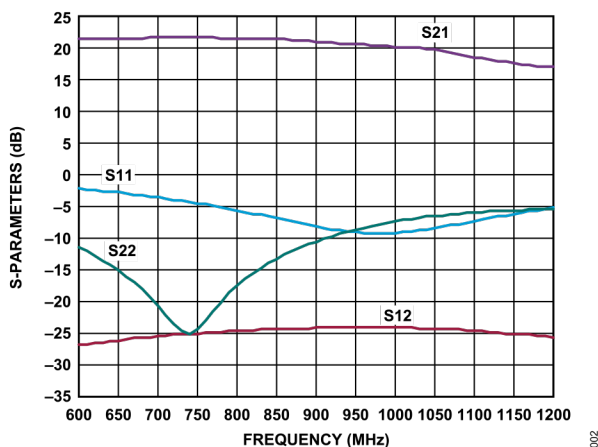


图2. ADL5523 典型S-参数

## 阻抗匹配网络

ADL5523需要使用一个外部匹配网络,该网络的阻抗针对所需的频段进行调谐,以实现优化性能。输入匹配网络包括与RFIN引脚串联的电感和一个并联电容。在输出端,匹配网络以类似的方式在偏置线路使用电感和电容。图3展示完整的阻抗匹配网络,以及将两个ADL5523放大器级联的实现方案。

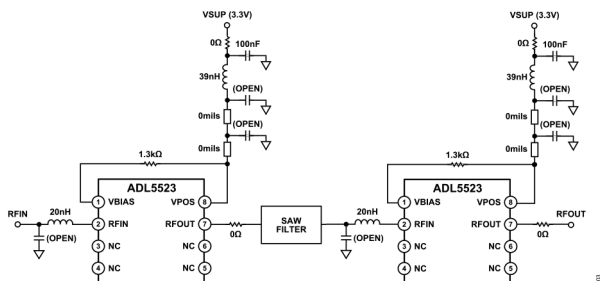


图3. 用于级联ADL5523 放大器的基本连接

这些元件的正确布局对于输入/输出阻抗匹配也很重要,因此, CN0555遵循ADL5523数据手册中针对500 MHz调谐频段的推荐布局和组件大小。

## SAW 滤波器

CN0555的LNA输出通过表面声波(SAW)滤波器进行滤波,有助于消除不必要的带外放大。选择滤波器时,必须在频带平坦度和带外抑制之间取得平衡。SAW滤波器也是一个插入损耗源,它会降低信号链的整体增益,选择时需要仔细考虑。CN0555使用的SAW滤波器具有2 dB典型插入损耗和50 Ω端接阻抗。

## RF 定向耦合器

CN0555包含一个纤薄、超小型的高性能3 dB 90°混合耦合器。该器件的工作频率为400 MHz至900 MHz,输入和输出阻抗为50 Ω, 433.92 MHz时的典型插入损耗为0.3 dB。

## RF 开关

ADG901是采用CMOS工艺制成的宽带RF开关,可以提供高隔离和低插入损耗。它是一种吸收式开关,具有50 Ω端接输入和输出。该开关允许用户传递高达0.5 V的DC信号,无需使用隔直电容。

ADG901的工作频率为DC至4.5 GHz,在4.5 GHz时的插入损耗为3 dB。在433.92 MHz中心频率时,此器件在“导通状态”下的典型插入损耗为0.4 dB,如图4所示;在“关断状态”下的典型插入损耗约为70 dB,如图5所示。

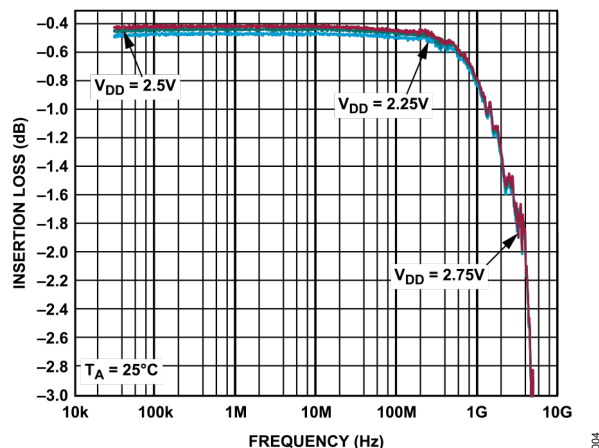


图4. ADG901 在导通状态下的插入损耗性能

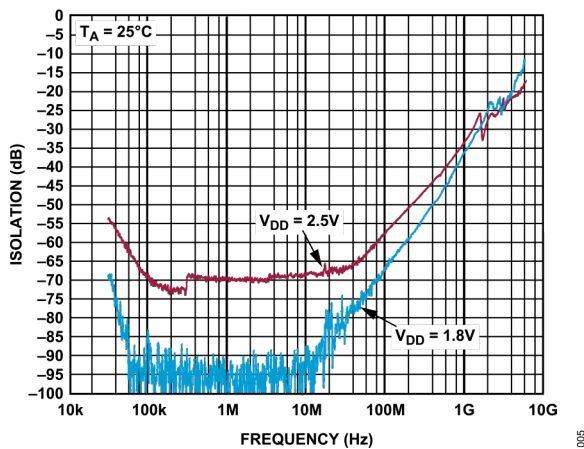


图5. ADG901 在关断状态下的隔离损耗性能

组合来自滤波器、耦合器和RF开关的插入损耗，在正常工作条件下，RF开关的输出端产生的总插入损耗约为2.7 dB。

## RF 性能

CN0555中得到的S参数、相位噪声测量结果、无杂散动态范围(SFDR)、噪声系数和稳定性测量值如下图所示。

在433.92 MHz中心频率下，CN0555实现了40.5 dB的增益，输入和输出回波损耗大于10 dB。图6显示在其工作范围内的S参数值。

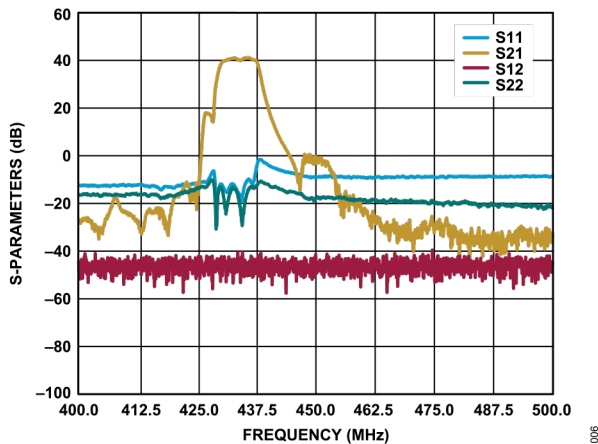


图6. EVAL-CN0555-EBZ S 参数与频率的关系

图7显示在433.92 MHz时的单边带相位噪声，在10 Hz、1 MHz和10 MHz偏置时分别约为-98 dBc/Hz、-131 dBc/Hz和-149 dBc/Hz。

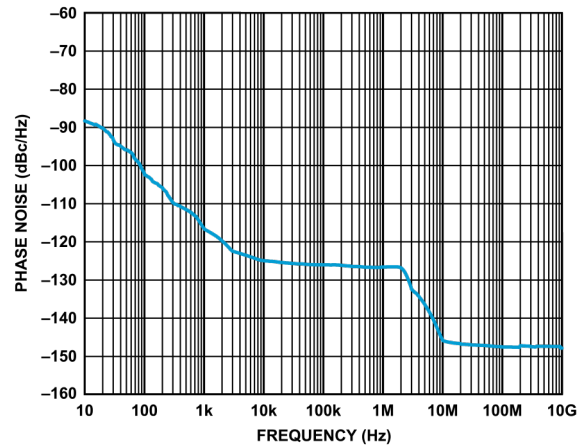


图7. 433 MHz 时的单边带相位噪声

图8显示窄带单音RF输出，SFDR为58.38 dBFS。

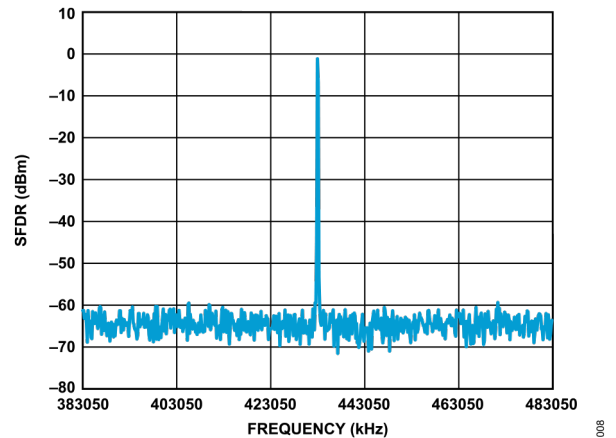


图8. 窄带单音 RF 输出

图9显示频率范围内相应的噪声系数，在433.92 MHz中心频率下约为0.8 dB。

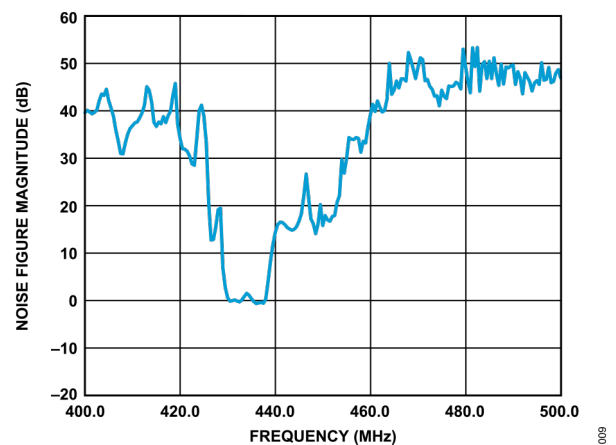


图9. 噪声系数与频率的关系

系统在整个433.92 MHz ISM频率带宽保持稳定，Rollet稳定性因子(k)高于1，辅助稳定性指标(B1)高于0，如图10所示。这使得CN0555在任何源阻抗和负载阻抗组合下，都能绝对保持稳定。

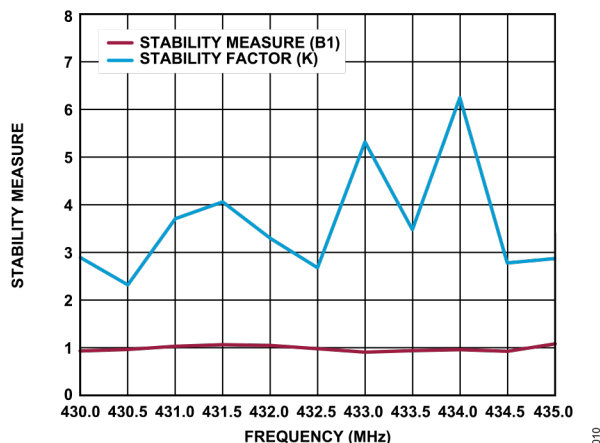


图 10. 稳定性因子和测量值与频率的关系

## 过载保护

CN0555中集成了过载管理功能，当输出功率达到预先设置的阈值时，该电路板的RF路径会自动隔离。此功能使用ADL5904 RF功率检波器来实现。

ADL5904提供电阻可编程检测阈值，将内部包络检波器电压与用户定义的输入电压进行比较。当包络检波器电压超过用户定义的VIN-引脚的阈值电压时，内部比较器捕获事件并将其锁定在设置/复位(SR)触发器中。图11显示了CN0555的过载保护电路。

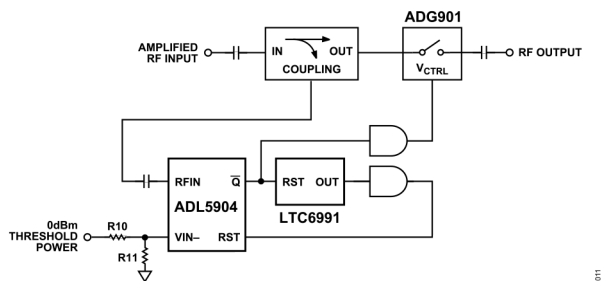


图 11. CN0555 过载保护电路

如图11所示，使用3 dB、90°混合耦合器对放大的RF输入进行采样。此功率传输至ADL5904的RFIN引脚，然后由内部包络检波器进行采样。ADL5904 VIN-引脚上的阈值电压电平由电阻分压器网络设置，该值可以使用公式1计算得出。

$$V_{IN-} = \left[ \frac{3.3 \times R_{11}}{R_{11} + R_{10}} \right] + \left[ \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11}} \times I_{BIAS} \times R_{11} \right] \quad (1)$$

其中：

VIN-是ADL5904的VIN-引脚的电压电平。

R10是用户定义的电阻值。

R11是用户定义的电阻值。

Ios为输入偏置电流。

CN0555的输入阈值功率设置为0 dBm，以保护连接至接收器系统的下游敏感设备。如表1所示，当工作频率为900 MHz时，0 dBm阈值功率对应VIN-的241 mV电压电平。

表 1. 工作频率未校准时，推荐的阈值电压(VIN-)典型值

输入阈值功率 (dBm)	阈值电压 (mV)		
	100 MHz	900 MHz	1900 MHz
-2.0	193	193	192
-1.0	216	216	215
0	239	241	241
1.0	268	272	270
2.0	300	304	303

VIN-的阈值电平由电阻分压器设置。选择R10和R11的绝对值，尽可能减少3.3 V电源轨上的负载，同时提供不受泄漏电流和偏置电流影响的输出阻抗。将R10设置为13.7 kΩ，使R11的值为1.02 kΩ，这会产生可忽略不计的224 μA分压器电流和991 Ω输出阻抗。

$$V_{IN-} = 241 \text{ mV}$$

$$I_{BIAS} = 20 \text{ μA}$$

$$R_{10} = 13.7 \text{ kΩ}$$

$$241 \text{ mV} = \left[ \frac{3.3 \times R_{11}}{R_{11} + 13.7 \text{ kΩ}} \right] + \left[ \frac{13.7 \text{ kΩ}}{13.7 \text{ kΩ} + R_{11}} \times 20 \text{ μA} \times R_{11} \right]$$

$$R_{11} = 991 \text{ Ω 或 } 1.02 \text{ kΩ (使用标准电阻值)}$$

使用最接近的标准电阻值求解公式1，将VIN-电压电平设置为241.9 mV。当功率超过阈值时，发生过载事件，将隔离RF路径。

ADL5904在其RF阈值功率上引入高达+2.5 dBm的误差电平，该值因器件而异。如果需要准确的阈值功率，必须执行简单的校准程序，以补偿器件与器件之间的差异。有关校准程序的更多信息，参见ADL5904数据手册。

## 自动复位功能

CN0555还包含自动复位电路，当功率电平返回到可接受范围内时激活。此功能由LTC6991可编程低频率定时器执行。

如图12所示, ADL5904的 $\overline{Q}$ 输出使LTC6991在正常工作期间保持在复位模式。发生过载事件时, LTC6991启用, 并且开始4 ms延迟。ADL5904在4 ms后复位, 对功率电平重新采样。如果过载状态持续, ADL5904再次断路, RF开关的控制信号进入低电平状态。这种信号转变会隔离ADG901开关的RF输入和输出。过载事件过去后, ADL5904开始重新采样功率电平, 然后返回正常工作状态。

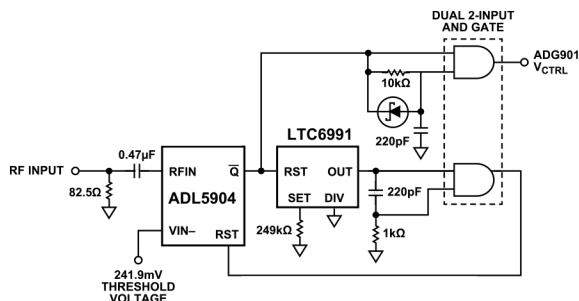


图 12. CN0555 自动复位电路

## 过载保护测试

图13显示了用于测试CN0555的过载保护功能的设置。在该测试中, RF信号发生器设置采用433.92 MHz中心频率, 输入功率从-50 dBm爬升至-40 dBm。CN0555输出功率由高速示波器进行监控, 该器件显示从发生过载事件到输出功率被衰减的响应时间。

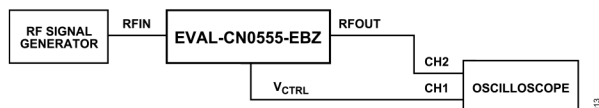


图 13. RF 过载响应测试设置

图14显示过载保护响应时间。根据该图, 从正常工作到RF输出功率被衰减, CN0555拥有约9 ns的响应时间。图15显示从过载状态结束到功率电平返回可接受范围的恢复时间。该数据显示, 从衰减RF输出到正常工作, 期间存在7 ns延迟。

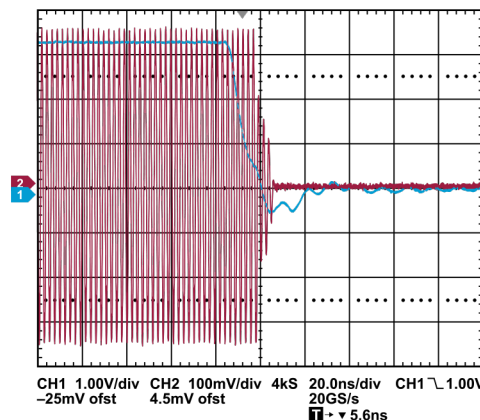


图 14. 典型的过载保护响应时间

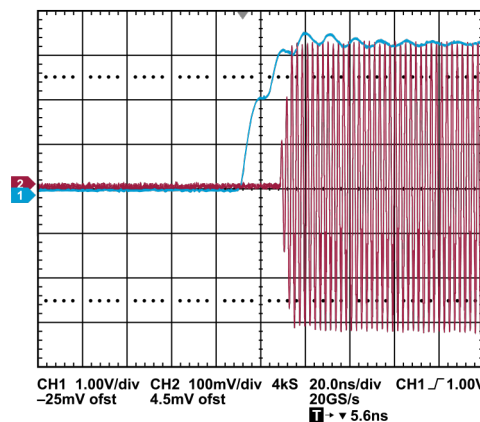


图 15. 发生过载事件后的典型恢复时间

## USB 电源管理

CN0555通过微型USB适配器获取电源, 该适配器一般通过微型USB端口提供5 V、1 A电源。此电路要求在正常工作期间获取约113.61 mA电流。要满足这项电源要求, 需要使用两个电源电压。第一个电源为ADL5523低噪声放大器、ADL5904 RF检波器和LTC6991低频率定时器提供3.3 V电源。第二个电源为ADG901 RF开关提供2.5 V电源。图16显示CN0555的整个电源结构。

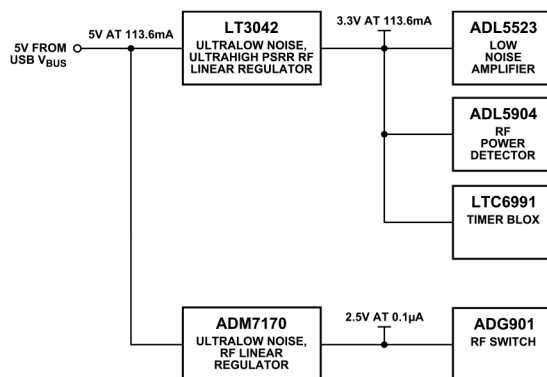


图 16. CN0555 电源架构



LT3042是一款高性能低压差(LDO)线性稳压器,采用超低噪声和超高电源抑制比(PSRR)架构,以便为噪声敏感型射频应用供电。LT3042设计用作后接高性能电压缓冲器的精密电流基准,可轻松并联以便进一步降低噪声,增加输出电流并在印刷电路板上散热。要配置LT3042提供3.3 V输出,所需的基本配置如图17所示。

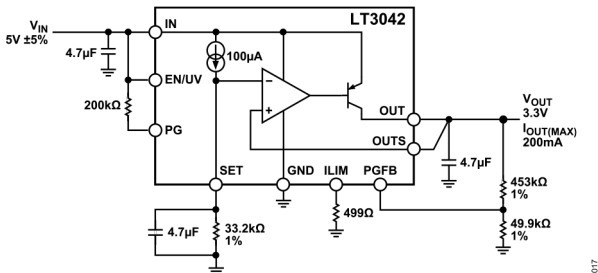


图 17. LT3042 提供 3.3 V 输出所需的配置

LT3042在SET引脚上集成一个精密100 µA电流源,该引脚还连接到放大器的反相输入。图17显示将电阻从SET引脚连接至GND会生成一个基准电压。该基准电压是SET引脚电流100 µA和SET引脚电阻的乘积,如公式2所示。

$$V_{OUT} = R_{SET} \times 100\mu A \quad (2)$$

ADM7170-2.5 LDO稳压器用于生成ADG901 RF开关所需的电源电压。该器件具有2.3 V至6.5 V的输入电压范围和2.5 V固定输出电压。ADM7170-2.5只需要输入电容和输出电容即可正常工作。特别是,ADM7170-2.5可在其输入和输出引脚上使用4.7 µF小型解耦电容。

## 常见变化

ADL5521可以用作替代型低噪声放大器,适用于使用433.92 MHz ISM频带的应用。该器件提供略低的增益、更高的噪声系数、OIP3和OP1dB。ADL5521采用与ADL5523相同的功率电平。两个器件的尺寸非常类似。

ADG902也可用作RF开关;此器件引脚兼容,并具有与ADG901相同的规格,但它是一种反射开关,提供更低的隔离损耗。

ADI公司还提供类似的用于在5.8 GHz ISM频段下工作的接收器放大器的参考设计。欲了解更多信息,请参阅CN0534电路笔记。

## 电路评估与测试

本节介绍评估CN0555的评估设置和步骤。有关电路评估设置的完整信息,请参阅EVAL-CN0555-EBZ用户指南。

## 设备要求

- EVAL-CN0555-EBZ电路评估板
- Rohde & Schwarz® SMA100B信号发生器
- Keysight® E5052B信号分析仪
- Keysight N5242A PNA-X矢量网络分析仪
- 5 V micro USB电源适配器或micro USB转USB电缆
- 一根SMA至SMA电缆

## 设置和测试

图18显示了EVAL-CN0555-EBZ与矢量网络分析仪的正确端口连接。

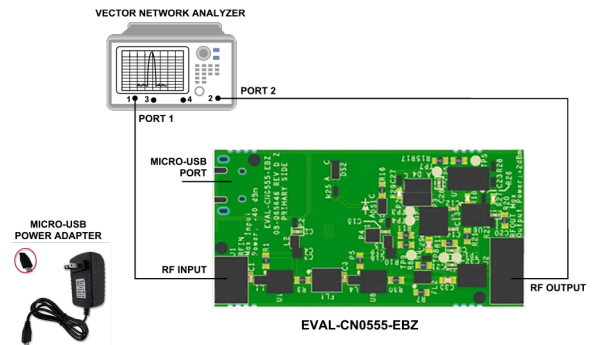
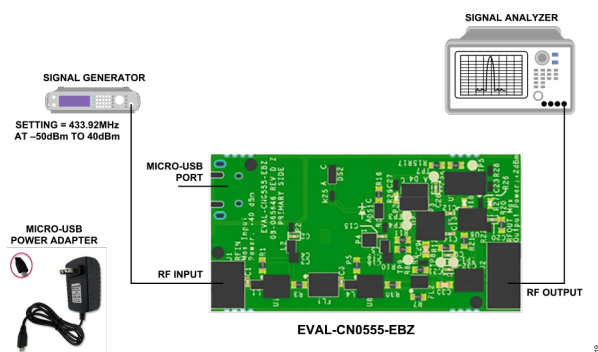


图 18. S 参数和噪声系数测试设置

测量S参数和噪声系数的步骤如下:

1. 将矢量网络分析仪设置为所需的测量条件,步骤如下:
  - a. 将频率扫描范围设置为 400 MHz 至 500 Mhz。
  - b. 将频率步长设置为 10 kHz。
  - c. 功率电平必须小于或等于-45 dBm。
2. 使用校准套件对矢量网络分析仪执行完整的2端口校准。请注意,EVAL-CN0555-EBZ的RF输入可以直接连到测试端口,因此测试设置仅需要一根测量电缆。
3. 使用校准的测试设置将EVAL-CN0555-EBZ连接在矢量网络分析仪的测试端口上。
4. 使用5 V电源适配器为EVAL-CN0555-EBZ供电。
5. 设置矢量网络分析仪,以显示各个S参数和噪声系数的迹线。
6. 将测量值与期望值进行比较。在433.92 MHz中心频率下,输入和输出回波损耗值分别约为16 dB和20.4 dB。对于增益和噪声系数,数值分别应为约40 dB和1.2 dB。

图19显示了执行相位噪声和SFDR测试时EVAL-CN0555-EBZ与信号分析仪和信号发生器的正确连接。



**图 19. 相位噪声和 SFDR 测试设置**

要执行相同的测试，请遵循以下步骤：

1. 按如下步骤设置信号分析仪所需的测量配置：
  - a. 为了执行 SFDR 测量，设置中心频率 = 433.92 MHz，频率范围 = 400 MHz 至 500 MHz，RF 幅值 = 10 dBm。
  - b. 为了执行相位噪声测量，设置中心频率 = 433.92 MHz，偏移频率范围 = 10 Hz 至 30 MHz。
2. 将信号发生器的功率电平设置在 -50 dBm 至 -40 dBm 之间，中心频率设置为 433.92 MHz。
3. 将信号发生器输出连接到 EVAL-CN0555-EBZ 的 RF 输入。
4. 将 EVAL-CN0555-EBZ 的 RF 输出连接到信号分析仪。
5. 使用 5 V 电源适配器为 EVAL-CN0555-EBZ 供电，该适配器的额定功率高于 500 mW。
6. 在信号分析仪上执行测量运行。
7. 使用信号分析仪获取相位噪声值，并验证在 10 kHz 频偏下其值是否约为 -125 dBc/Hz。
8. 运行 SFDR 测试并比较读数；期望值约为 60 dBc。

## 更多资料

CN0555设计和集成文件

ADIsimRF™ RF信号链计算工具

LTspice® SPICE仿真软件

LTpowerCAD®设计工具

MT-031 指南, “实现数据转换器的接地并解开 AGND 和 DGND 的谜团”。ADI 公司。

MT-073 指南, “高速可变增益放大器(VGA)。”ADI 公司。

MT-101 指南, “去耦技术”。ADI 公司。

Whitlow, Dana. “现代通信系统中接收机用自动增益控制环路的设计与操作。”Chapter 8。ADI 公司无线研讨会。2006。

## 数据手册和评估板

CN0555评估板(EVAL-CN0555-EBZ)

ADL5523数据手册

ADL5523评估板

ADG901数据手册

ADG901评估板

ADL5904数据手册

ADL5904评估板

LT3042数据手册

LT3042评估板

ADM7170数据手册

ADM7170评估板

LTC6991数据手册

LTC6991评估板

## 修订历史

2022 年 10 月—修订版 0: 初始版



### ESD 警告

**ESD (静电放电) 敏感器件。**带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电, 尽管本产品具有专利或专有保护电路, 但在遇到高能量 ESD 时, 器件可能会损坏。因此, 应当采取适当的 ESD 防范措施, 以避免器件性能下降或功能丧失。



(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits 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 circuits 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 circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab circuits 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 circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.

