

# USB 供电、915 MHz ISM 无线电频段、具有过温管理功能的 1 W 功率放大器

作者：ADI 公司

## 电路功能与优势

国际电信联盟(ITU)分配了免许可的 915 MHz 工业、科学和医学(ISM)无线电频段供区域 2 使用，该区域在地理上由美洲、格陵兰岛和一些东太平洋群岛组成。在该区域内，多年来无线技术和标准的进步使此频段在短距离无线通信系统中颇受欢迎。该 ISM 频段对应用和占空比没有任何限制，常见用途包括业余无线电、监视控制与数据采集(SCADA)系统以及射频识别(RFID)。

但是，无论何种应用，该频段中的无线电传输都要求信号链电路之后有一个放大器模块来驱动天线。在美国，根据 FCC 的规定，对于使用直接序列扩频(DSSS)或跳频扩频(FHSS)的 50 通道无线电系统，以及对于使用 FHSS 的少于 50 个通道的无线电系统，采用 915 MHz ISM 频段的扩频发射机的最大峰值输出功率分别为 36 dBm 和 30 dBm。

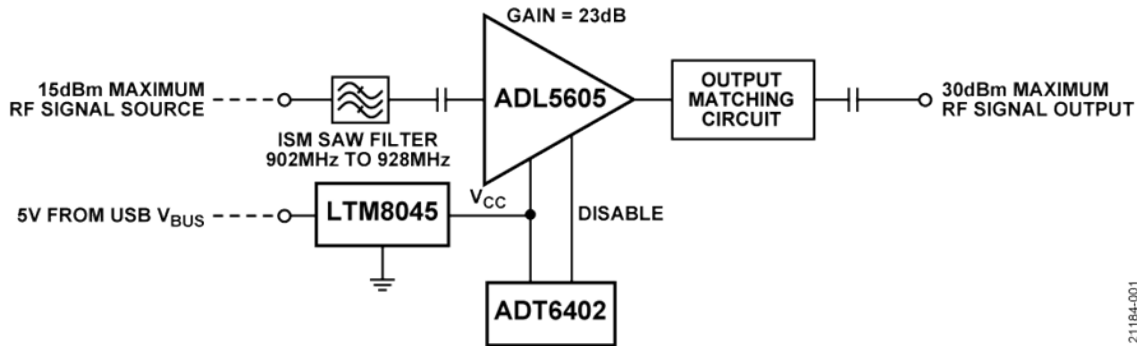


图 1.CN-

0522 简化功能框图

## 电路描述

### 工作在 915 MHz ISM 频段

电路的 RF 输入信号必须通过表面声波(SAW)滤波器，以将驱动放大器的输入限制为 902 MHz 至 928 MHz 频段。选择滤波器时，必须在带内平坦度和带外抑制之间取得平衡。在选择过程中，应注意 SAW 滤波器也是插入损耗的来源，它会降低信号链的总增益。

该参考设计所用的 SAW 滤波器的典型最大插入损耗为 2.9 dB，端接阻抗为 50Ω。

### 放大器

ADI 公司的两级 RF 功率放大器 [ADL5605](#) 的工作频率范围为 700 MHz 至 1 GHz，典型增益为 23.0 dB，最小噪声系数为 4.7 dB，从 881 MHz±13 MHz 开始的最小输出三阶交调截点(IP3)为 43.4 dBm。

有源偏置已集成在 ADL5605 中，只需将 5 V 电压施加于 VBIAS 引脚并通过 RF 扼流电感(L1)施加于 RFOUT 引脚，便可设置两个放大器级的最优偏置点。建议使用 18 nH 的电感，因为这也会为 915 MHz ISM 频段提供一定的输出匹配。为了滤除电源线上的 RF 信号和高频噪声，ADL5605 的输出级偏置以及 VCC 和 VBIAS 引脚上均需要三个去耦电容。

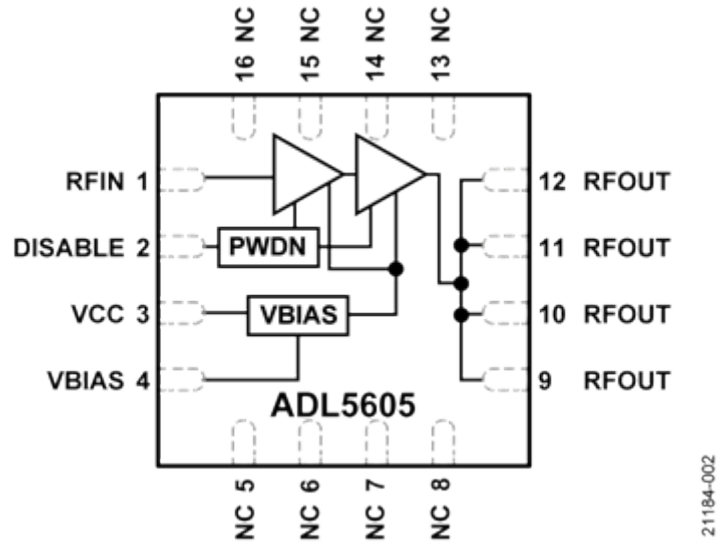


图 2.ADL5605 功能框图

### 阻抗匹配

对于 915 MHz ISM 频段，ADL5605 的 RFIN 引脚上不需要外部匹配元件。同时，使用微带线作为电感，并连接一个额外的串联电感(L2)和一个并联电容(C<sub>OUT</sub>)，即可将其 RFOUT 引脚轻松匹配至 50Ω。RFIN 和 RFOUT 引脚均需要外部隔直流电容。

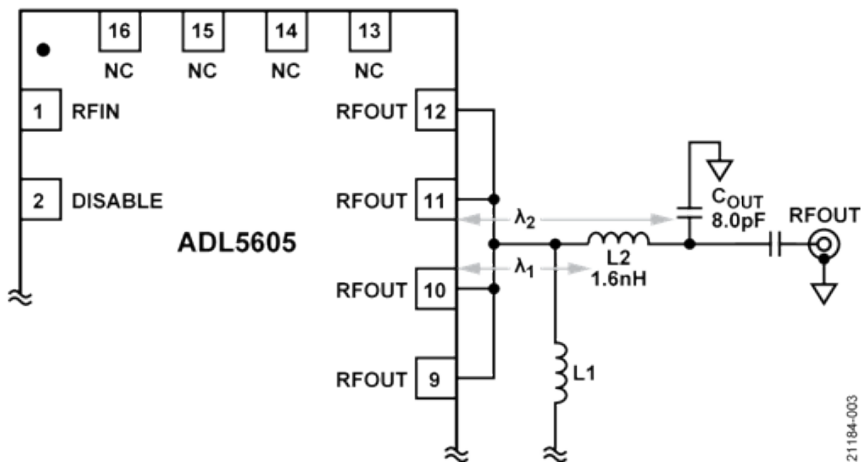


图 3.ADL5605 RFOUT 匹配参数

根据 ADL5605 数据手册，当放大器的工作频率高于 868 MHz 时，L2 和 C OUT 的推荐值分别为 1.6 nH 和 8.0 pF。这些元件的正确布局对于匹配至关重要。然而，在 Keysight Advanced Design System (ADS) 软件中对该参考设计进行仿真得到的建议元件间距值为： $\lambda_1 = 94.5$  密耳， $\lambda_2 = 240$  密耳（与 925 MHz 至 961 MHz 频段相同，参见 ADL5605 数据手册）。这些值是从元件中心测量到放大器的边缘。

### 小信号性能和相位噪声

该设计产生的 S 参数和相位噪声测量结果如图 4 和图 5 所示。在 915 MHz 的中心频率，该电路实现了 20 dB 的增益，输入和输出回波损耗分别大于 11 dB 和 6 dB。该系统的相位噪声很低，在 10 kHz 和 100 kHz 的频率偏移时，相位噪声值低于 -110 dBc/Hz；在 1 MHz 和 10 MHz 的频率偏移时，相位噪声值分别低于 -130 dBc/Hz 和 -140 dBc/Hz。

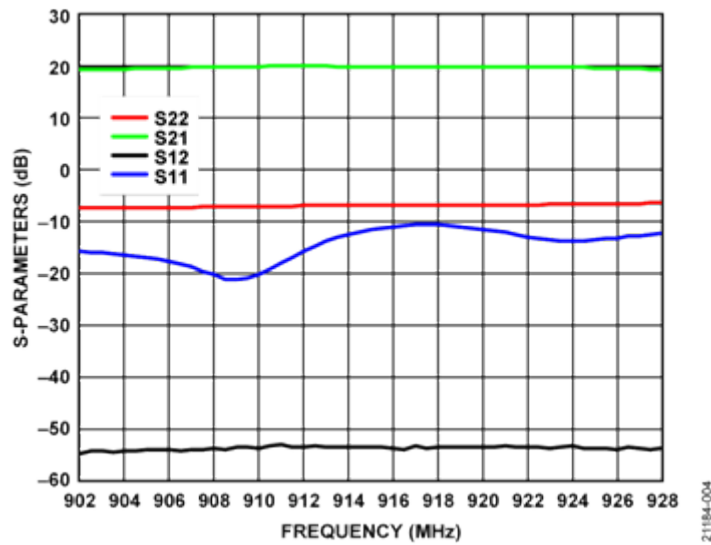


图 4.输入回波损耗(S11)、反向隔离(S12)、正向增益(S21)、输出回波损耗(S22)与频率的关系

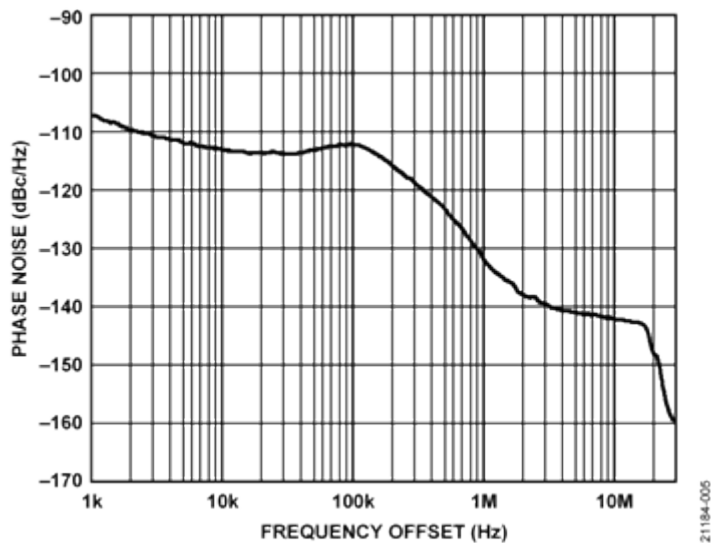


图 5.相位噪声与频率偏移的关系（915 MHz 输入）

设计的输出功率( $P_{OUT}$ )与输入功率( $P_{IN}$ )的关系图如图 6 所示，确认在大约 11 dBm 的输入电平下实现了 1 W 的最大输出电平。

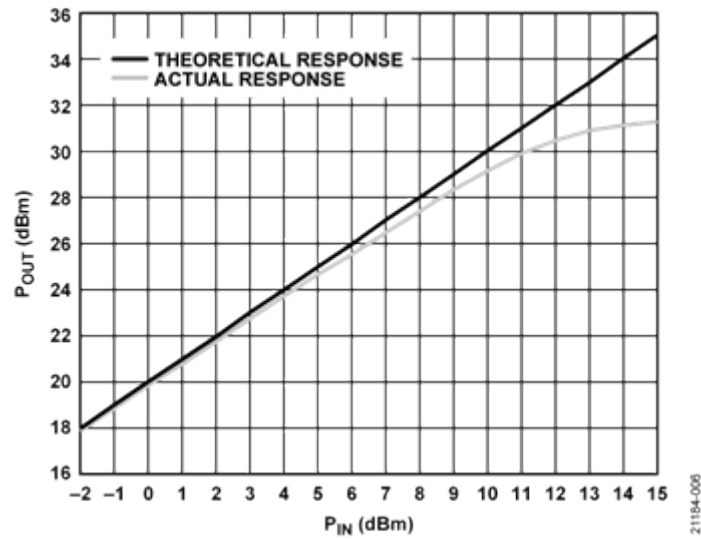


图 6.  $P_{OUT}$  与  $P_{IN}$  的关系 (915 MHz 输入)

此设计的 RF 输入以 SAW 滤波器或放大器的最大额定值 (以较低者为准) 为限。使用默认板载 SAW 滤波器时，电路的最大输入为 15 dBm。ADL5605 本身可以处理高达 20 dBm 的输入。

### 过温管理

利用 ADI 公司的 [ADT6402](#) 温度开关实现过温管理功能以监视板温度，在其达到设定的阈值时禁用放大器，从而让 EVAL-CN0522-EBZ 冷却。该温度传感器的精度很高，典型额定值为  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  (最大值为  $+6^\circ\text{C}$ ，从  $-45^\circ\text{C}$  到  $+115^\circ\text{C}$ )，在整个额定温度范围内都能保持高精度和线性度，无需用户校准或校正。

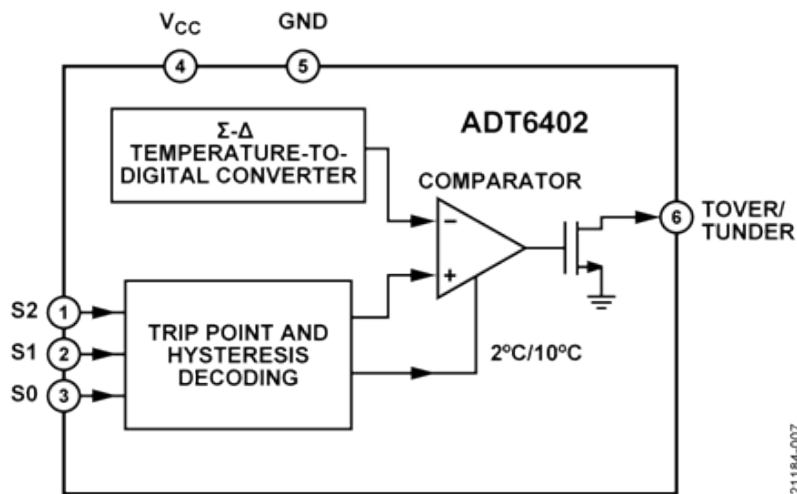


图 7. ADT6402 功能框图

S0、S1 和 S2 引脚的状态选择 ADT6402 的温度断路点和迟滞。CN-0522 的引脚 S2 硬连线至 VCC，而引脚 S0 和 S1 可利用焊接跳线 JP1 和 JP2 连接至 VCC 或 GND（或保持浮空）。这些引脚配置将温度断路点和迟滞选项限制为表 1 所列的选项。

表 1. 选择断路点和迟滞<sup>1</sup>

JP1	JP2	温度断路点(° C)	迟滞(° C)
0	0	+65	10
1	0	+75	10
浮空	0	+85	10
0	1	+95	10
1	1	+105	10
浮空	1	+115	10
0	浮空	+5	2
1	浮空	-5	2
浮空	浮空	-15	2

<sup>1</sup> 0 表示引脚接 GND，1 表示引脚接 VCC，“浮空”表示引脚浮空。

由于 ADL5605 的散热特性良好，建议将断路点设置为至少 95°C。

ADT6402 具有一个高电平有效推挽输出(TOVER/TUNDER)，该输出在温度测量值超过断路点时使能。TOVER/TUNDER 通过缓冲门连接到 ADL5605 的 DISABLE 引脚，当温度开关跳闸时，放大器关断，只有在系统冷却到断路点以下的温度（加上迟滞）之后才再次开启。缓冲门确保放大器(ADL5605)的 DISABLE 引脚的 5 V 逻辑电平和 1.4 mA 电流要求得到满足。

为了获得最佳性能，必须使 ADT6402 的 GND 引脚和热源 GND 引脚的热阻最小。因此，ADT6402 安装在 EVAL-CN0522-EBZ 的背面，靠近连接至 ADL5605 裸露焊盘的散热通孔。

## 布局考虑

功率放大器在使用时会产生大量热量，因此必须特别注意电路的散热。为了减轻功耗影响，EVAL-CN0522-EBZ 设计有三层厚的接地层，并在 ADL5605 周围和下方布置了多个散热通孔。

在 Cadence® Sigrity™ PowerDC™ 软件中对 CN-0522 设计进行的仿真表明，在正常工作期间，放大器周围的印刷电路板(PCB)温度接近 85°C。为了实现较小尺寸，没有在板上增加用于放置散热器的条件。但是，CN-0522 设计有过温管理功能，可将 EVAL-CN0522-EBZ 温度保持在系统性能最佳的水平。此特性还能防止 ADL5605 芯片达到其最高结温。

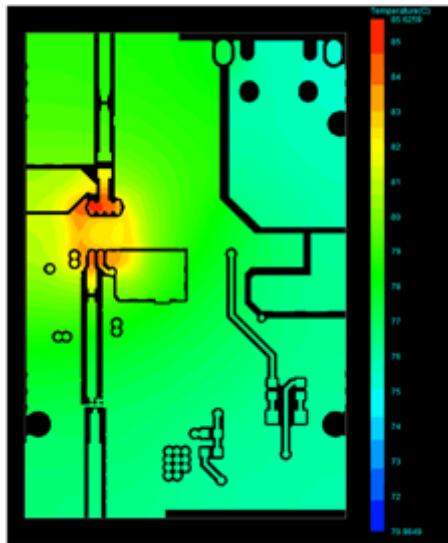


图 8.CN-0522 PCB 热仿真（主面）

## 使用 LTM8045 进行 USB 电源管理

CN-0522 的电源通过 microUSB 端口供应，并由 [LTM8045](#) μModule 调节。这个小型、独立的 DC-DC 转换器简化了稳压器电路设计，因为它已经包括了电流模式控制器和用于低噪声放大器电源的功率器件。

该设计在正常工作期间大约需要 307 mA 电流，主要由 ADL5605 消耗（ADT6402 仅需要 30μA）。但请注意，ADL5605 在较高输出电平下会消耗更多电源电流。例如，根据 ADL5605 数据手册所述，输出为 30 dBm 时，电流消耗大于 560 mA。CN-0522 中使用的所有有源器件仅需要 5 V 单直流电源。

配置为单端初级导体(SEPIC)时，LTM8045 的输出电压由  $V_{OUT+}$  和 FB 引脚之间的反馈电阻( $R_{FB}$ )的值设置，该电阻值通过公式 1 计算。

$$R_{FB} = (V_{OUT} - 1.215)/0.0833$$

其中：

$R_{FB}$  为反馈电阻，单位为  $k\Omega$ 。

$V_{OUT}$  为期望输出电压，单位为  $V$ 。

对于  $5 V$  的输出电压，该公式得出的  $R_{FB}$  值为  $45.3k\Omega$ ，在 CN-0522 中实现为两个并联的  $60.4k\Omega$  和  $182k\Omega$  电阻，以提供两条反馈路径（参见图 9）。

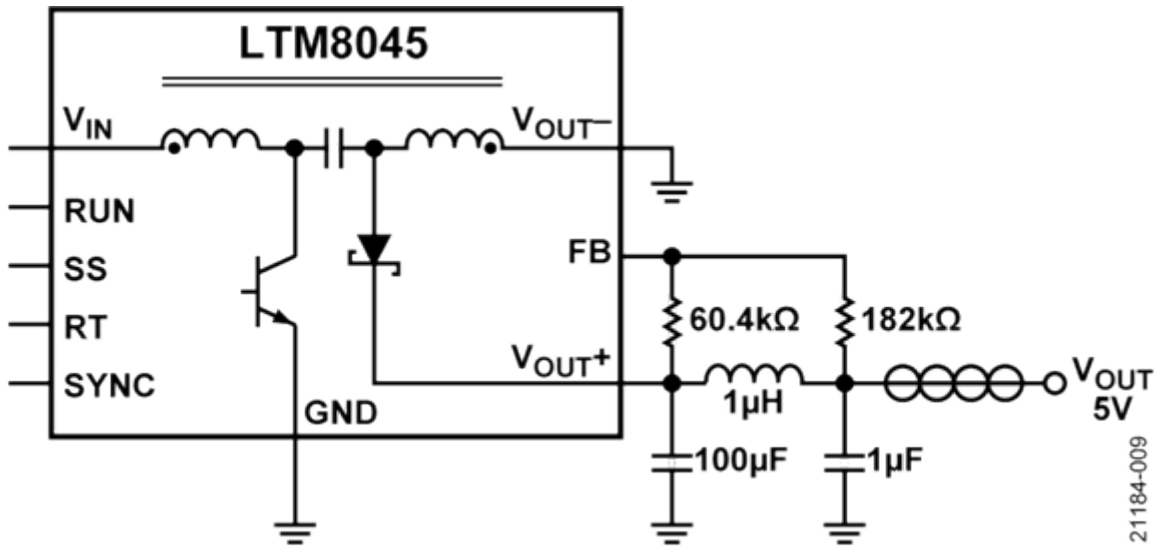


图 9.LTM8045 配置为  $5 V$  SEPIC ( $V_{OUT}$  侧)

为使 LTM8045 开关瞬变引入的噪声最小，稳压输出通过一个阻尼 LC 滤波器和一个铁氧体磁珠。该滤波器用于抑制  $80 MHz$  至  $150 MHz$  的开关噪声。图 10 显示了 LTspice® 中仿真的 LTM8045 输出噪声的 FFT 图。

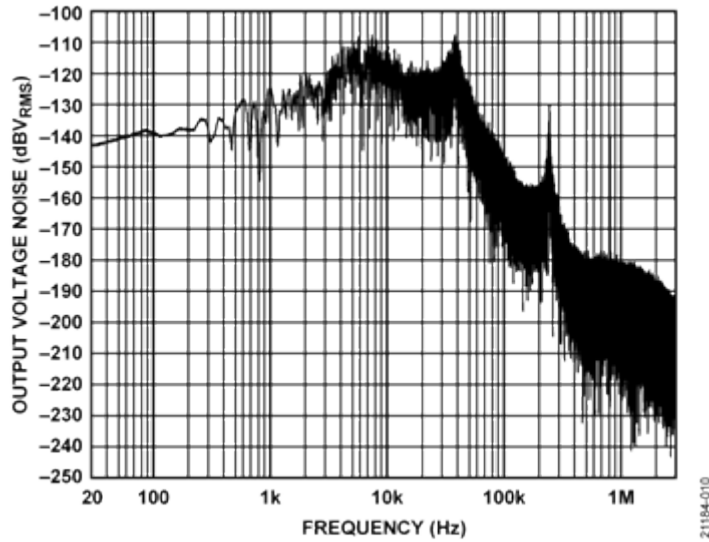


图 10.使用 LTspice 得到的 LTM8045 输出噪声 FFT 图

LTM8045 的开关频率由 RT 引脚和 GND 之间的外部电阻设置，电阻值通过公式 2 计算。

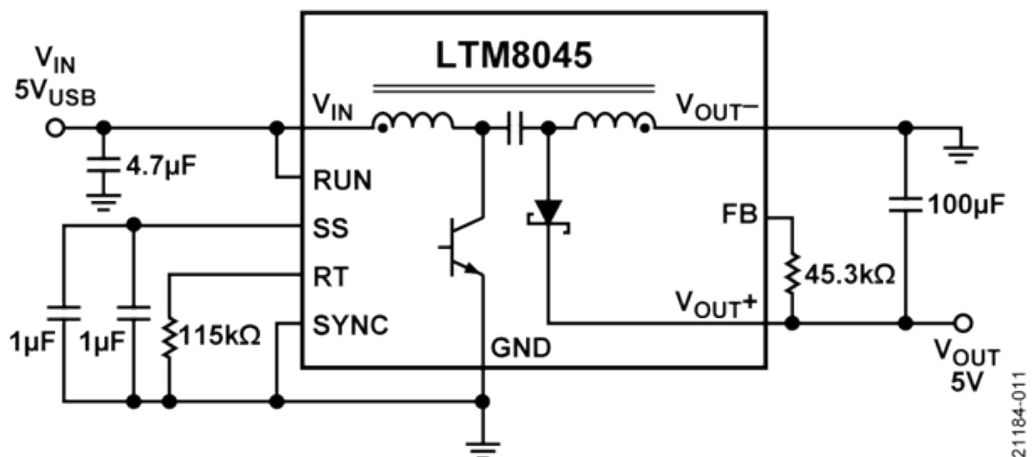
$$R_T = (91.9/f_{osc}) - 1$$

其中：

$R_T$  为外部电阻，单位为 k $\Omega$ 。

$f_{osc}$  为期望开关频率，单位为 MHz。

对于 5 V 的输入和输出电压电平，根据数据手册所述，LTM8045 的最佳开关频率为 800 kHz。将此值代入公式 2 中的  $f_{osc}$ ，可计算出外部电阻值为 115 k $\Omega$ 。对于该配置，推荐的输入和输出电容分别为 4.7 $\mu$ F 和 100 $\mu$ F。



21184-011



图 11.LTM8045 配置为 5 V SEPIC (VIN 侧)

为了限制启动期间来自电源的浪涌电流，LTM8045 设计有软启动功能，该功能使用 SS 和 GND 之间的外部电容实现。要计算软启动时间，请使用公式 3。

$$t_{SS} = (C_{SS}/5.45)$$

其中：

$t_{SS}$  为软启动时间，单位为秒。

$C_{SS}$  为外部电容，单位为  $\mu\text{F}$ 。

此设计使用两个并联连接的  $0.1\mu\text{F}$  电容作为软启动电容，因此软启动时间约为 367 ms。

#### 常见变化

如果不需要 1 W 的功率水平，[HMC450](#) 可以用作 915 MHz ISM 频段的替代驱动放大器。与 ADL5605 相比，HMC450 具有更高的增益、噪声系数和输入回波损耗，但代价是输出匹配要求更高，并且输出 IP3 和输出 1 dB 压缩点(P1dB)较低。HMC450 的饱和输出电平仅为 700 mW 左右。

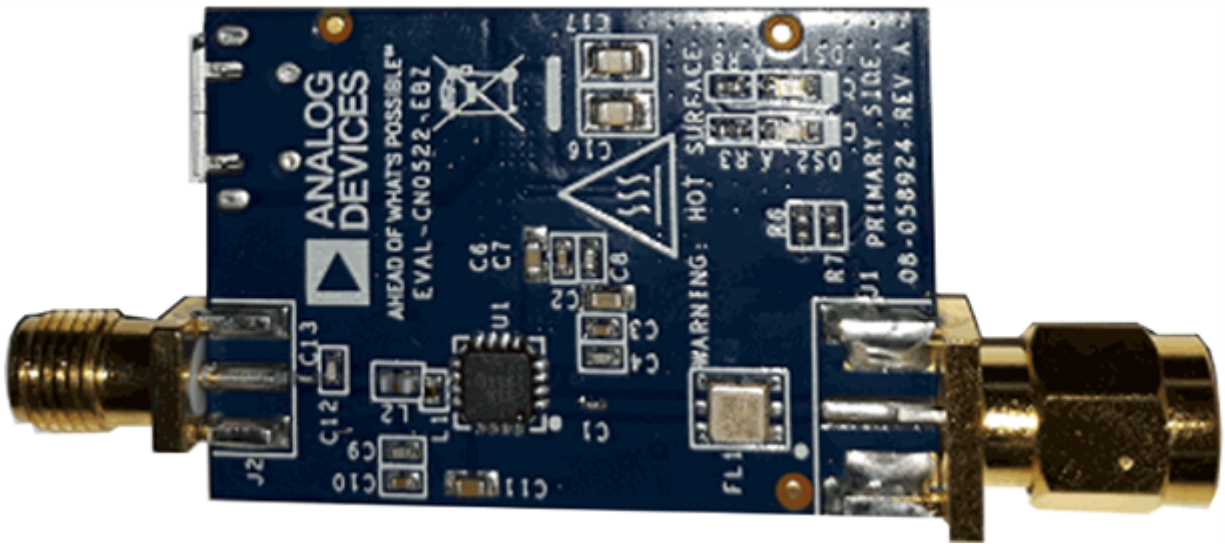
如果使用 HMC450，则温度开关必须替换为 [ADT6401](#)，其与 ADT6402 引脚兼容且有相同的规格，但输出为低电平有效输出。

ADI 公司还提供类似的用于在 2.45 GHz ISM 频段中进行传输的放大器设计。有关更多信息，请参阅 [电路笔记 CN-0417](#)。

#### 电路评估与测试

本节介绍用于测试 CN-0522 的 S 参数和相位噪声的设置和步骤。

有关更多信息，请参阅 [CN-0522 用户指南](#)。



21184-012

图 12.EVAL-CN0522-EBZ 顶视图



21184-013

图 13.EVAL-CN0522-EBZ 底视图

## 设备要求

进行测试需要如下设备：

- EVAL-CN0522-EBZ
- Keysight® E5061B 矢量网络分析仪
- Rohde & Schwarz® SMA100A 信号发生器
- Rohde & Schwarz FSUP 信号源分析仪
- 5 V 交流/直流 USB 电源适配器
- USB A 型转 microUSB 电缆
- SMA 电缆

- 20 dB 衰减器（选配），用于信号源分析仪的输入保护

## 设置与测试

要测量 S-参数，请执行以下步骤：

1. 将矢量网络分析仪设置为所需的测量条件。频率范围必须设置为包括 902 MHz 至 928 MHz 频段，而源电平必须设置为 0 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-CN0522-EBZ 的 RF 输入 (J1)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 5 V 电源适配器和 microUSB 电缆为 EVAL-CN0522-EBZ 供电。
4. 使用校准的测试设置将 EVAL-CN0522-EBZ 连接在矢量网络分析仪的测试端口上。
5. 将测量值设置为所需的 S 参数。
6. 在矢量网络分析仪上执行自动缩放功能。如果需要，随后可调整比例。

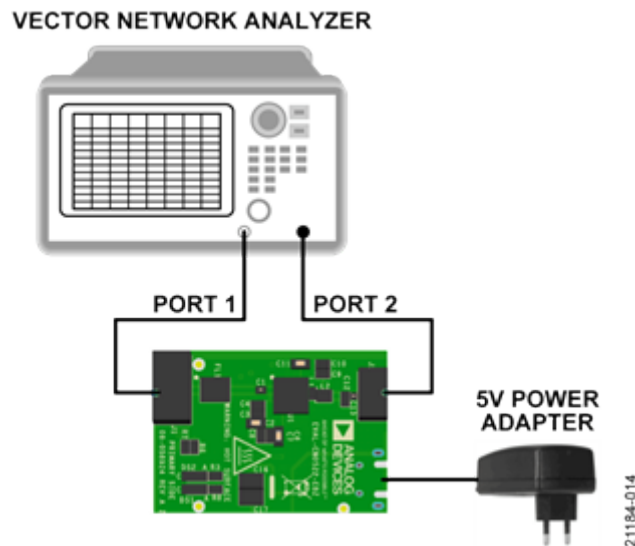


图 14.S 参数测量设置

要测量相位噪声，请执行以下步骤：

1. 将信号源分析仪设置为所需的测量配置。
2. 将信号发生器的输出设置为 915 MHz 的频率和 0 dBm 的电平。
3. 如果设备可以处理放大器输出（0 dBm 输入时约为 20 dBm），请参考信号源分析仪数据手册上的最大输入电平。如有必要，将衰减器连接到信号源分析仪的输入。
4. 使用 5 V 电源适配器和 microUSB 电缆为 EVAL-CN0522-EBZ 供电。
5. 将信号发生器的输出连接到 EVAL-CN0522-EBZ 的 RF 输入(J1)。
6. 将 EVAL-CN0522-EBZ 的 RF 输出(J2)连接到信号源分析仪。
7. 在信号源分析仪上执行测量运行。

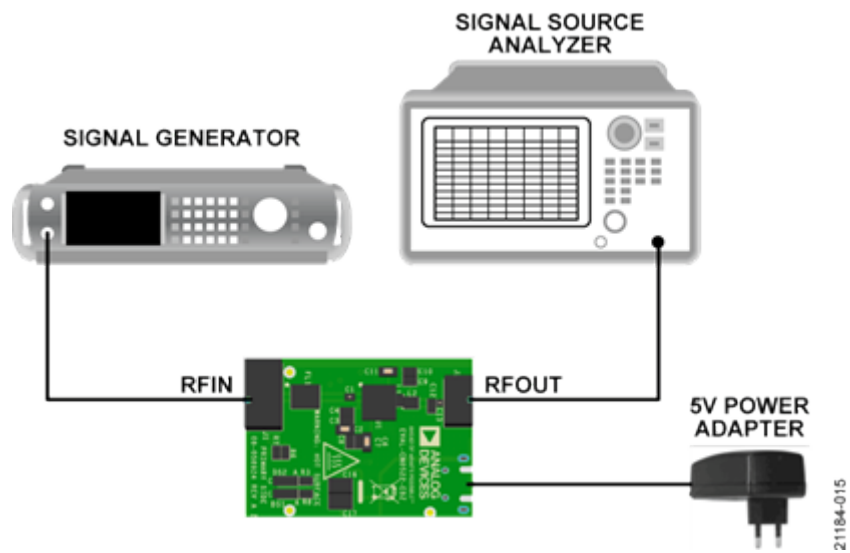


图 15.相位噪声测量设置

21164-015