

Circuits from the Lab® Reference Designs

Circuits from the Lab® 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, 帮助并解决当今模拟、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/CN0534。

连接/参考器件

HMC717A	GaAs、pHEMT、MMIC、低噪声放大器, 4.8 GHz 至 6.0 GHz
ADL5904	提供包络阈值检测功能的 DC 至 6 GHz、45 dB TruPower 检波器
HMC802A	20 dB GaAs MMIC 1 位数字正控制衰减器, 采用 SMT 封装, DC - 10 GHz
LTC6991	TimerBlox: 自恢复低频率振荡器
LT8335	集成 2A、28V 开关的低 IQ 升压/SEPIC/反相转换器
ADM7150	800 mA、超低噪声/高 PSRR LDO
ADP150	超低噪声、150 mA CMOS 线性稳压器

USB 供电的 5.8 GHz RF LNA 接收器, 带输出功率保护功能

评估和设计支持

- ▶ 电路评估板
 - ▶ [CN0534 电路评估板\(EVAL-CN0534-EBZ\)](#)
- ▶ 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)分配了免许可的5.8 GHz工业、科学和医学(ISM)无线电频段供全球使用。随着无线技术和标准的进步, 以及最低的法规合规要求, 使此频段在短距离无线通信系统中颇受欢迎。

因为可用的通道数量和带宽, 短距离数字通信应用(例如WiFi)更倾向于使用5.8 GHz频段。虽然传输范围比2.4 GHz频段要短, 但它提供150 MHz带宽, 可支持高达23个非重叠WiFi通道。其他常见用例包括软件定义无线电、无线接入点、公共安全无线电、无线中继器、毫微微蜂窝、长期演进(LTE)/微波存取

的全球互操作性(WiMAX)/4G、收发器基站(BTS)基础设施。

这种设计尺寸小巧, 提供高增益、可靠的过功率监测和保护, 对于面临信号强度低, 或覆盖范围小的ISM频段应用来说, 这是一项附加优势。

图1所示的电路来自高性能RF接收器系统, 具有+23 dB增益, 优化之后, 支持采用5.8 GHz中心频率。其输入未经滤波, 保持2 dB噪声系数, 但输出端配有带通滤波器, 会衰减带外干扰。

该电路中包含高速过功率检测器和开关, 用于保护连接至接收器系统的下游敏感设备。当RF功率电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输入和输出是标准的SMA连接器, 整个设计由一个微型USB连接器供电。

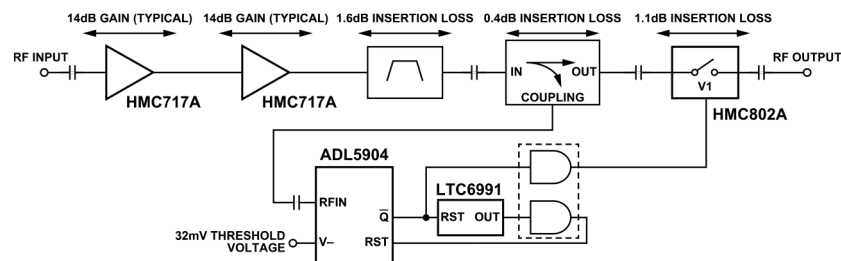


图 1. EVAL-CN0534-EBZ 简化功能框图

电路描述

RF 低噪声放大器(LNA)

HMC717A是一款砷化镓(GaAs)假晶高电子迁移率晶体管(PHEMT)、单芯片微波集成电路(MMIC) LNA, 适用于工作频率为4.8 GHz至6.0 GHz, 适合多种信号通信协议(例如ISM、MC-GSM、W-CDMA和TD-SCDMA)的后端接收器。

如图2所示, 在其RF工作频段内, HMC717A具有14.5 dB增益。噪声系数为1.1 dB, 放大器由一个5 V电源供电, 总电源电流为68 mA。为了实现23 dB总增益, 将两个HMC717A放大器级联。HMC717A提供1.1 dB噪声系数、27 dBm 3阶交调点(IP3)和15 dB压缩点(P1dB), 适用于第一级LNA, 也适用于中间增益级。

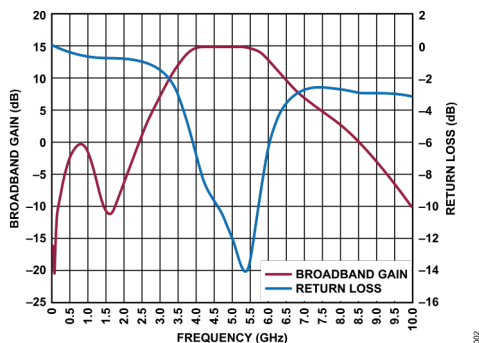


图2. HMC717A 宽带增益(S21)和回波损耗(S11)与频率的关系

LNA 阻抗匹配

如图3所示, HMC717A的RFIN (引脚2) 和RFOUT (引脚11) 引脚是单端引脚, 在4.8 GHz至6.0 GHz频率范围内具有50Ω标称电阻, 允许HMC717A直接连接至50Ω端接系统, 无需使用额外的阻抗匹配电路。

RFOUT具有集成式隔直流电容, 所以无需在第二级采用外部电容, 支持在不使用外部匹配电路的情况下以背靠背的方式将多个HMC717A放大器级联在一起。唯一的要求是, 第一级的RFIN必须与1.2 pF电容交流耦合。

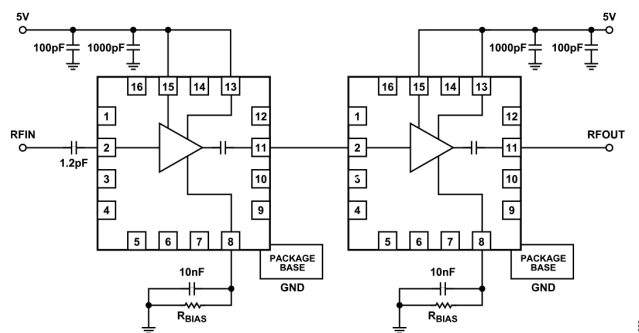


图3. 用于级联HMC717A 放大器的基本连接

带通滤波器

LNA输出被带通滤波器滤波。如图4所示, 该滤波器的通带范围为5400 MHz至6400 MHz, 典型的回波损耗为14.7 dB, 在5.8 GHz中心频率下的插入损耗为1.6 dB。

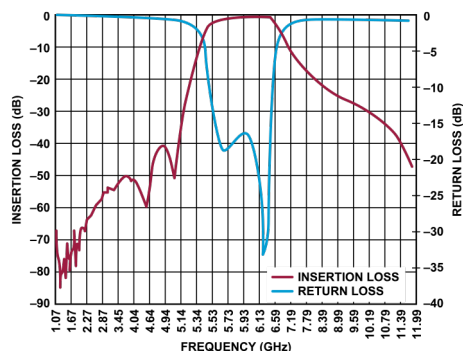


图4. 带通滤波器的典型电气性能:
插入损耗(S21)和回波损耗(S11)

过功率保护

相对较低的功率电平会损坏敏感电路。例如, AD9363收发器的RF输入的绝对最大功率电平为+2.5 dBm。CN0534包含一个过功率保护, 当功率电平下降到可接受范围内时, 运行自动复位电路, 如图5所示。

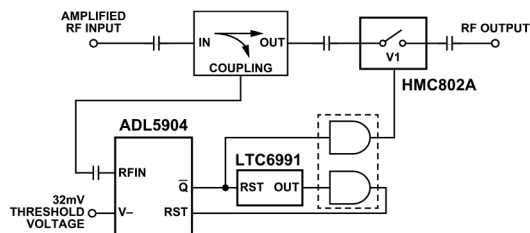


图5. RF 衰减器和功率检波器保护框图

电路描述

RF 功率检波器和自动复位电路

ADL5904是一款RF功率检波器，工作频率范围是DC至6 GHz。建议在ADL5904的输入端配备一个470 nF交流耦合电容和一个外部82.5Ω分流电阻，以提供宽频段输入匹配。ADL5904使用内部RF包络检波器和用户定义的输入电压，根据RF输入功率电平提供可编程的阈值检测功能。当来自RF包络检波器的电压超过VIN-引脚上用户定义的阈值电压时，内部比较器将事件锁存到触发器上。超过用户编程阈值的RF输入信号至输出锁存的响应时间为极快的12 ns。锁存事件保持在触发器上，直至对RST引脚施加复位脉冲。

CN0534的带通滤波器的输出功率电平由一个耦合因子为+13 dB的集成薄膜耦合器采样，并转发到ADL5904的RFIN引脚。ADL5904在VIN-上的阈值电平由一个电阻分压器设置，值设置为约32 mV，相当于在未经校准的情况下，在5.8 GHz下运行时的-9 dBm阈值功率，如ADL5904数据手册所示。结合耦合器和RF衰减器在0 dB状态下的损耗，输出保持在对敏感器件来说安全的水平下。

如果需要更高的过功率阈值精度，可以在多个频率下执行简单的校准程序，以补偿系统内器件之间的差异。关于校准程序的信息，参见ADL5904数据手册。

在正常运行期间，ADL5904的Q输出使LTC6991可编程低频率定时器保持复位状态。发生过功率事件时，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。如果过功率状态持续，ADL5904再次断路，衰减器保持在-20 dB状态。衰减器控制信号被延迟，在对功率电平重新采样期间，它将持续保持-20 dB状态。如果过功率情况消除，衰减器恢复到0 dB状态，恢复正常工作，如图6所示。

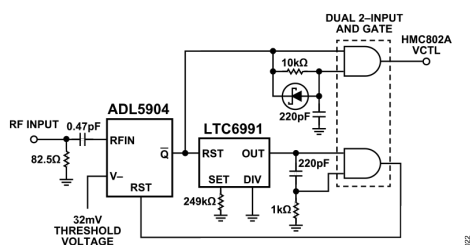


图6. 自动重试电路功能框图

RF 衰减器

HMC802A是一款宽带双向1位GaAs IC数字衰减器。该器件在旁路模式下，在5.8 GHz频率下具有

1.5 dB低插入损耗，启用时具有 20 ± 0.6 dB准确衰减。由一个5 V电源供电，IP3为+55 dBm，衰减控制信号兼容CMOS/TTL。虽然RF开关通常用于过功率保护应用，但在5.8 GHz下，HMC802A的20 dB衰减要优于大多数RF开关的关断隔离状态。

如图7所示，在5.8 GHz中心频率下，该器件在旁路模式下的典型插入损耗为1.5 dB。图8显示在5.8 GHz中心频率下，衰减模式下的隔离系数为-20.5 dB。

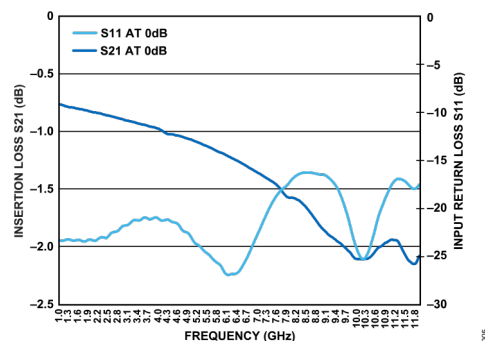


图7. 旁路模式下时，HMC802A的典型插入损耗和输入回波损耗性能

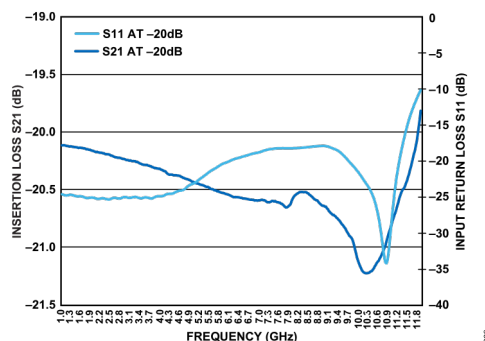


图8. 衰减模式下时，HMC802A的典型插入损耗和输入回波损耗性能

组合来自带通滤波器、耦合器和来自RF衰减器的插入损耗，在5.8 GHz中心频率下，在正常工作条件下，RF衰减器输出端的总插入损耗约为3 dB，在衰减模式下时，约为21.5 dB。

保护结果

使用图9所示的设置测试过功率保护功能。RF信号发生器的输出频率设置为5.8 GHz，CN0534的输入功率从-30 dBm增加到-20 dBm。CN0534的输出功率由ADL6010高速包络检波器监控，该检波器提供从过功率事件到输出功率衰减的响应时间的精确测量值。

电路描述

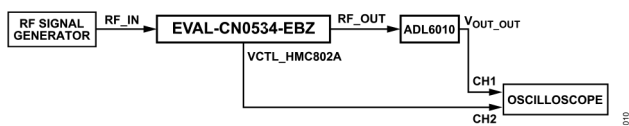


图9. RF 过功率响应测试的简化框图

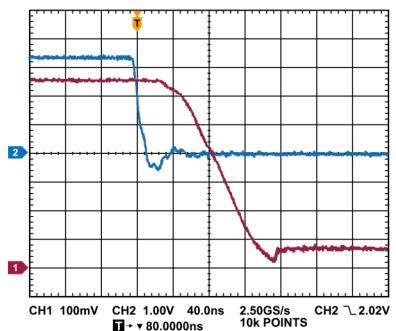


图10. 典型的过功率保护响应时间

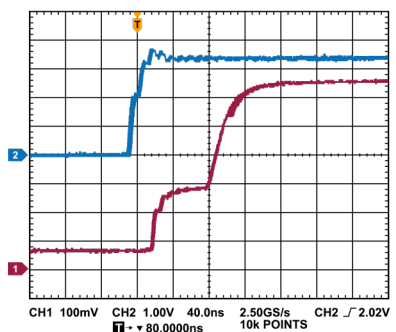


图11. 过载保护状态后，典型的恢复时间

一旦触发，检波器锁存在250 Hz的频率下复位，如果输出功率下降到低于2.5 dBm，则输出开关启用。开关使能信号被延迟，以确保它不会在过功率情况仍然存在时被确认。结果如图10和图11所示。

USB 电源管理

升压转换器

图12显示EVAL-CN0534-EBZ功率树，它通过微型USB接口，从5 V电源消耗1.1 W功率。

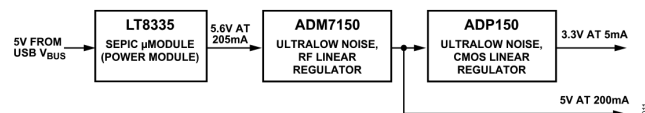


图12. CN0534 系统功率架构

LT8335是一款电流模式DC/DC转换器，能够利用单个反馈引脚生成正或负输出电压。它可以配置为升压、SEPIC或反相转换器，消耗低至6μA静态电流。

在典型应用中，低纹波突发模式可在低输出电流时保持高效率，同时使输出纹波保持在15 mV以下。内部补偿电流模式架构可在宽输入和输出电压范围内稳定工作。集成软启动和频率折返功能，以便在启动期间控制电感电流。要配置LT8335提供5.6 V输出，所需的基本连接如图13所示。

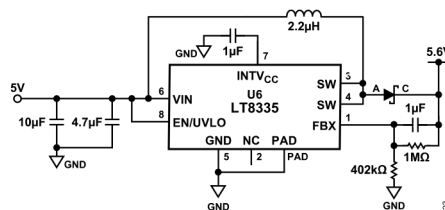


图13. LT8335 的5.6V 输出框图

输出电压通过输出端和FBX引脚之间的电阻分压器进行编程。根据公式1选择电阻值，以提供正输出电压：

$$R1 = R2 \times \left(\frac{V_{out}}{1.6} - 1 \right) \quad (1)$$

超低噪声线性稳压器

ADM7150是一款超低噪声高PSSR RF线性稳压器，使用5 V输出尽量增大HMC717A的增益。

ADM7150是一款低压差线性稳压器，在固定输出电压选择下，在100 Hz到100 kHz范围内提供1.0 μV rms典型输出噪声，在10 kHz以上提供<1.7 nV/√Hz噪声谱密度，如图14所示。

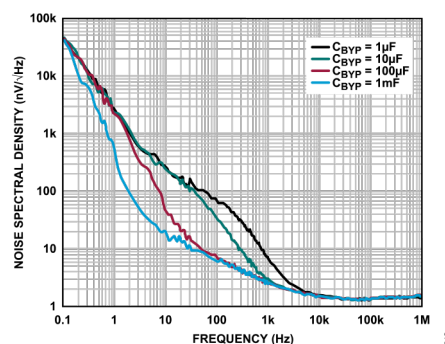


图14. 不同旁路电容(CBYP)下的噪声谱密度与频率

ADP150用于为功率检波器和自动重试电路生成3.3 V电压。如图15所示，它是一个高性能低压差线性稳压器，具有超低噪声和超高PSRR架构，用于为噪声敏感型RF应用供电。

电路描述

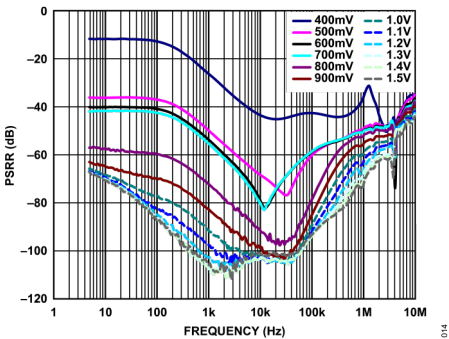


图 15. ADP150 PSRR 与频率的关系

常见变化

为了实现更宽的工作带宽, 可以使用[HMC8411](#)来代替RF LNA。HMC8411是一款低噪声宽带放大器, 工作频率范围为0.01 GHz到10 GHz。它提供15.5 dB典型增益、1.7 dB典型噪声系数和34 dBm典型输出3阶交调点功率(OIP3), 采用5 V电源电压时功耗仅为55 mA。HMC8411还具有内部匹配50 Ω 的输入和输出, 非常适合基于表贴技术(SMT)的高容量微波无线电应用。

[HMC550A](#)可用于代替RF开关。它是一款低成本单刀单掷(SPST)故障安全开关, 用于需要低插入损耗和低电流消耗的应用。这些器件可控制频率范围为

DC至6 GHz的信号, 尤其适合IF和RF应用, 包括RFID、ISM、汽车和电池供电标签和笔记本电脑。

[ADL6010](#)可以用作包络检波器替代组件, 是一款快速响应、45 dB范围、0.5 GHz至43.5 GHz包络检波器。ADL6010是一款多功能微波频谱宽带包络检波器, 采用简单的6引脚封装, 提供极低的功耗(8 mW)。该器件输出的基带电压与射频(RF)输入信号的瞬时幅度成正比。它的RF输入具有非常小的斜率变化, 以便包络从0.5 GHz到43.5 GHz的输出转换函数。

电路评估与测试

以下部分概述评估 CN0534 性能的一般设置。如需完整的详细信息，请参阅 [CN0534 用户指南](#)。

设备要求

- ▶ [EVAL-CN0534-EBZ](#) 参考设计板
- ▶ 一个 RF 信号源 (R&S® SMA100B)
- ▶ 一个信号源分析仪 (Keysight E5052B SSA)
- ▶ 一个网络分析仪 (Keysight N5242A PNA-X)
- ▶ 一根 SMA 至 SMA 电缆
- ▶ 一根 micro USB 至 USB 电缆
- ▶ 5 V 交流/直流 USB 电源适配器

测试设置

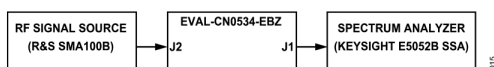


图 16. 相位噪声和 SFDR 测试设置框图

要测量图16所示的相位噪声和SFDR，请执行以下步骤：

- 按如下步骤设置信号源的测量配置：
 - ▶ 为了执行 SFDR 测量，设置中心频率 = 5.8 GHz，频率范围 = 5.79 GHz 至 5.81 GHz，RF 幅值 = 10 dBm。
 - ▶ 为了执行相位噪声测量，设置中心频率 = 5.8 GHz，偏移频率范围 = 10 Hz 至 30 MHz。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。
- 将信号源发生器的功率电平设置为 0 dBm，中心频率设置为 5.8 GHz。
- 使用 micro USB 电缆和额定功率大于 500 mW 的 5V 电源适配器为 EVAL-CN0534-EBZ 供电。
- 将信号发生器的输出连接到 EVAL-CN0534-EBZ 的 RF 输入 (J2)。
- 将 EVAL-CN0534-EBZ 的 RF 输出 (J1) 连接到信号源分析仪。
- 在信号源分析仪上执行测量运行。



图 17. S 参数和噪声系数测试设置框图

要测量图17所示的S参数和噪声系数，请执行以下步骤：

- 将矢量网络分析仪设置为所需的测量条件，采用以下设置：
 - ▶ 为了执行 S 参数测量，设置频率范围 = 4.8 GHz 至 6.8 GHz。
 - ▶ 为了执行相位噪声测量，设置频率范围 = 5.3 GHz 至 6.8 GHz。
- 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-CN0534-EBZ 的 RF 输入 (J2) 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。
- 使用 5 V 电源适配器和 microUSB 电缆为 EVAL-CN0534-EBZ 供电。
- 使用校准的测试设置将 EVAL-CN0534-EBZ 连接在矢量网络分析仪的测试端口上。
- 将测量值设置为所需的 S 参数。
- 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。

RF 性能

EVAL-CN0534-EBZ 在 5.8 GHz 中心频率下，将 RF 信号输入放大约 +23 dB 增益，回波损耗为 -15 dB。图 18 和图 19 显示了 EVAL-CN0534-EBZ 的增益和回波损耗。

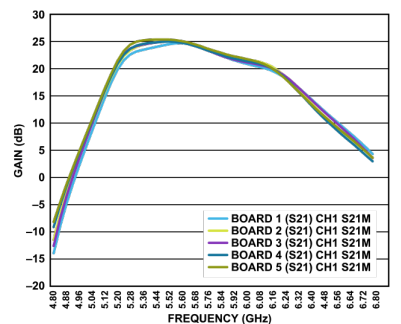


图 18. EVAL-CN0534-EBZ 增益与频率的关系

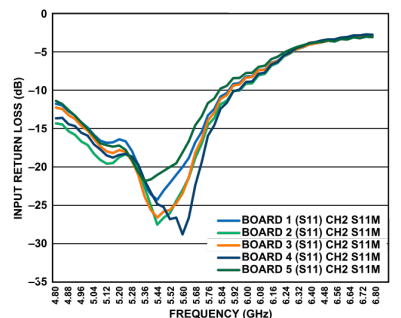


图 19. EVAL-CN0534-EBZ 输入回波损耗与频率的关系

5.8 GHz 时的单边带相位噪声如图 20 所示。

电路评估与测试

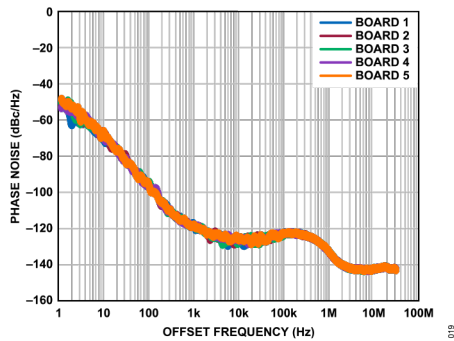


图 20. EVAL-CN0534-EBZ 在 5.8 GHz 下的单边带相位噪声与偏移频率的关系

图21显示窄带单音RF输出，SFDR约为78 dBFS。

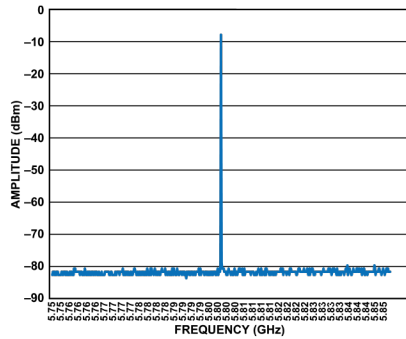


图 21. EVAL-CN0534-EBZ 在 5.8 GHz 时的窄带单音 RF 输出

图22显示相应的噪声值与频率的关系，在5.8 GHz 中心频率下约为2 dB。

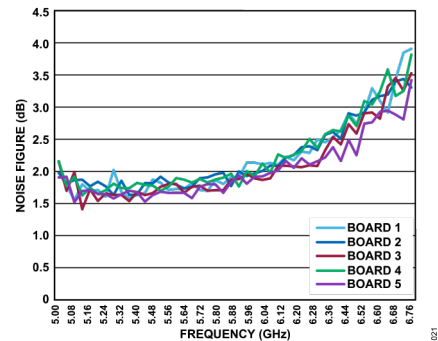


图 22. EVAL-CN0534-EBZ 噪声系数与频率的关系

了解更多

CN0534设计支持包

Musceac, Adrian。 “适合SDR的RF功率放大器。”
gradiolink.org。 2017。

John Ardizzoni。 高速印刷电路板布局实用指南,《模拟对话》 39-09, 2005年9月。

CN-0150电路笔记, 利用AD8318对数检波器实现经软件校准的1 MHz至8 GHz、70 dB RF功率测量系统, ADI公司

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

教程MT-073, 高速可变增益放大器(VGA), ADI公司。

教程MT-101: 解耦技术, 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

HMC717A数据手册

HMC717A评估板

HMC802A数据手册

HMC802A评估板

ADL5904数据手册

ADL5904评估板

LT8335数据手册

LT8335评估板

ADM7150数据手册

ADM7150评估板

ADP150数据手册

ADP150评估板

LTC6991数据手册

LTC6991评估板

修订历史

2021年11月—修订版0 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.

