

**Circuits from the Lab™**  
Reference Circuits

Circuit from the Lab™ 是经过测试的电路设计，旨在解决常见的设计挑战，方便设计人员轻松快捷地实现系统集成。有关更多信息和/或技术支持，请访问：  
[www.analog.com/CN0187](http://www.analog.com/CN0187)。

### 连接/参考器件

ADL5502	450MHz 至 6 GHz 波峰因数检波器
AD7266	差分/单端输入、双通道、同步采样、2MSPS、12 位、3 通道 SAR ADC
ADA4891-4	低成本、四通道、CMOS、高速、轨到轨放大器
ADP121	150mA、低静态电流、CMOS 线性调节器，采用 5 引脚 TSOT 或 4 引脚 WLCSP 封装

## 针对高速、低功耗和 3.3 V 单电源而优化的波峰因数、峰值和均方根 RF 功率测量电路

### 评估和设计支持

电路评估板

[CN-0187 电路评估板 \(EVAL-CN0187-SDPZ\)](#)

[系统演示平台 \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

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

图 1 所示电路测量 450 MHz 至 6 GHz 的任意 RF 频率下的峰值和 rms 功率，动态范围约为 45 dB。测量结果转换为差分信号以便消除噪声，并通过串行接口和集成基准电压源在 12 位 SAR ADC 的输出端形成数字代码。在数字域中执行简单的两点校准。

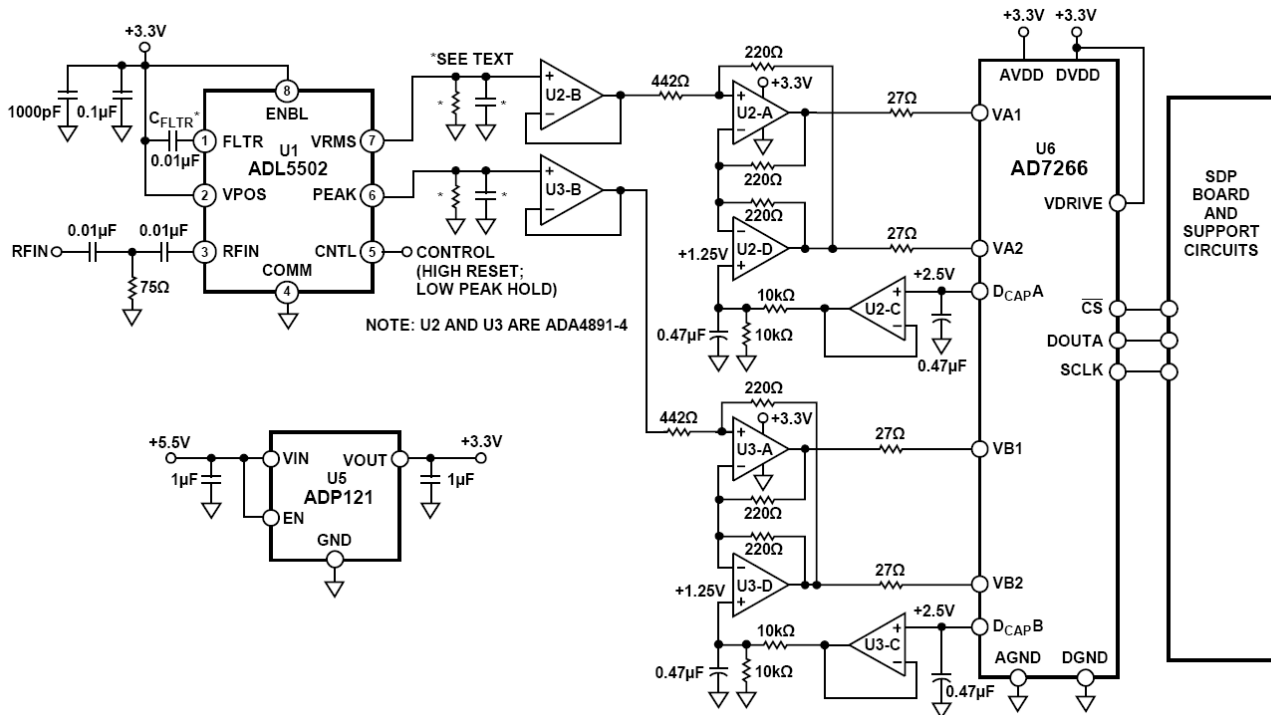


图 1. 高速、低功耗、波峰因数、峰值和 RMS 功率测量系统（简化示意图：未显示去耦和所有连接）

Rev.0

Circuits from the Lab™ circuits 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 Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

**ADL5502**是一款均值响应（true rms）功率检波器，内置包络检波器，可以精确地测量调制信号的波峰因数(CF)。它可以用于 450 MHz至 6 GHz的高频接收机和发射机信号链，包络带宽超过 10 MHz。峰值保持功能允许利用较低采样速率的ADC捕获包络中的短峰值。该器件的总功耗仅为 3 mA (3 V)。

**ADA4891-4**是一款高速、四通道、CMOS放大器，兼具高性能、低成本优势。每个放大器的功耗仅为 4.4 mA (3 V)。该放大器具有单电源供电能力，输入电压范围可扩展至负供电轨以下 300 mV。轨到轨输出级使输出摆幅可以达到各供电轨 50 mV 以内，以确保最大的动态范围。低失真和快速建立时间则使该器件成为此应用的理想选择。

**AD7266**是一款双通道、12 位、高速、低功耗的逐次逼近型 ADC，采用 2.7 V至 5.25 V单电源供电，采样速率最高可达 2 MSPS。这款器件内置两个ADC，两者之前均配有一个 3 通道多路复用器和一个能够处理 30 MHz以上输入频率的低噪声、宽带宽采样保持放大器。功耗仅为 3 mA (3 V)。此外还内置一个 2.5 V基准电压源。

电路采用**ADP121**的+3.3 V单电源供电，**ADP121**是一款低静态电流、低压差线性调节器，采用 2.3 V至 5.5 V电源供电，最大输出电流为 150 mA。驱动 150 mA负载时压差仅为 135 mV，这种低压差特性不仅可改善功效，而且能使器件在很宽的输入电压范围内工作。满载时静态电流低至 30  $\mu$ A，因此ADP121非常适合电池供电的便携式设备使用。

ADP121 可提供 1.2 V至 3.3 V范围内的输出电压，其性能经过优化，采用 1  $\mu$ F 小型陶瓷输出电容可实现稳定工作。ADP121 具有出色的瞬态响应性能，所占电路板面积积极小。短路保护和热过载保护电路可以防止器件在不利条件下受损。ADP121 提供 5 引脚 TSOT 和 4 引脚、0.4 mm 间距无卤素 WLCSP 两种小型封装，是适合各种便携式应用的业界最小尺寸解决方案。

### 电路描述

经测量的 RF 信号加在 ADL5502 上，RF 输入端的 75  $\Omega$  端接电阻与 ADL5502 的输入阻抗并联，提供 50  $\Omega$  宽带匹配。更精确的电阻性或电抗性匹配可用于窄频带应用（参见 ADL5502 数据手册的“RF 输入接口”部分）。

ADL5502 的内部滤波器电容提供平方域内的平均值，但在输出端保留残余交流信号。高峰均比信号（例如 W-CDMA 或 CDMA2000）可在 ADL5502 VRMS 直流输出端产生交流残余电平。为减少这些低频成分对波形形成的影响，需要一些额外的滤波处理。ADL5502 的内部平方域滤波器电容可通过在引脚 1 (FLTR)与引脚 2 (VPOS)之间连接  $C_{FLTR}$  电容来增强。交流残余电平则通过对 VRMS 输出增加电容来进一步减少。内部 100  $\Omega$  输出电阻与添加的输出电容共同形成低通滤波器，从而减少 VRMS 输出端的输出纹波（更多信息请参见 ADL5502 数据手册的“选择平方域滤波器”和“输出低通滤波器”部分）。

要测量波形峰值，必须将控制线(CNTL)暂时设定为逻辑高电平（复位模式 $>1 \mu$ s），然后返回逻辑低电平（峰值保持模式）。这样便可将 ADL5502 初始化至已知状态。将器件设定为测量峰值时，应切换峰值保持模式，且在此期间输入 rms 功率和波峰因数(CF)不会改变。

如果 ADL5502 处于峰值保持模式，且 CF 从高变为低，或者输入功率从高变为低，则会报告错误峰值测量结果。ADL5502 仅报告峰值保持模式启动，输入功率或 CF 较高时发生的最高峰值。除非 CNTL 复位，否则 PEAK 输出不会反映信号内的最新峰值。

ADL5502 能够提供大约 3 mA 的 VRMS 输出电流。输出电流通过片内 100  $\Omega$  串联电阻提供；因此，任何负载电阻都会利用该片内电阻形成分压器。建议用 ADL5502 VRMS 输出驱动高阻性负载，从而维持输出摆幅。如果应用需要驱动低电阻负载（以及需要增加标称转换增益的情况），则需要缓冲电路。

PEAK 输出专为驱动 2 pF 负载而设计。建议用 ADL5502 PEAK 输出驱动低容性负载，从而实现完整输出响应时间。当在下降转换期间跟踪包络时，较大容性负载的效应尤其明显。当包络处于下降转换中，负载电容通过 1.9 k $\Omega$  的片内负载电阻放电。如果无法避免使用较大容性负载，可通过将 PEAK 输出端的分流电阻接地抵消额外电容，从而实现快速放电。该分流电阻可以使 ADL5502 流过更高的电流，不应低于 500  $\Omega$ 。

图 2 至图 5 中显示了该电路的典型测量性能特征。

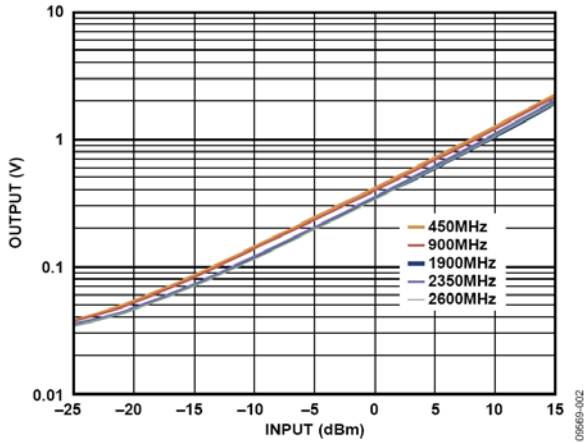


图 2. 测得的 VRMS 输出与输入电平 (对数比例) 的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

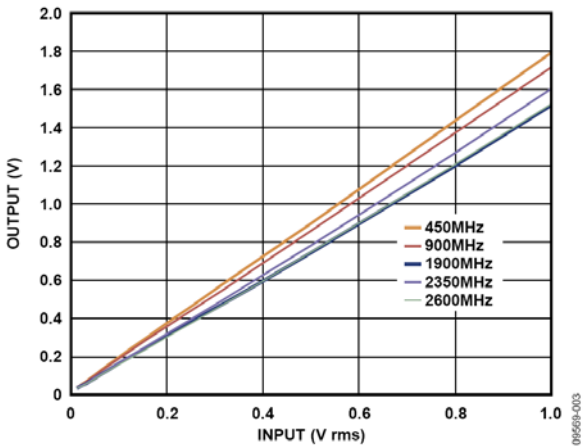


图 3. 测得的 VRMS 输出与输入电平 (线性比例) 的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

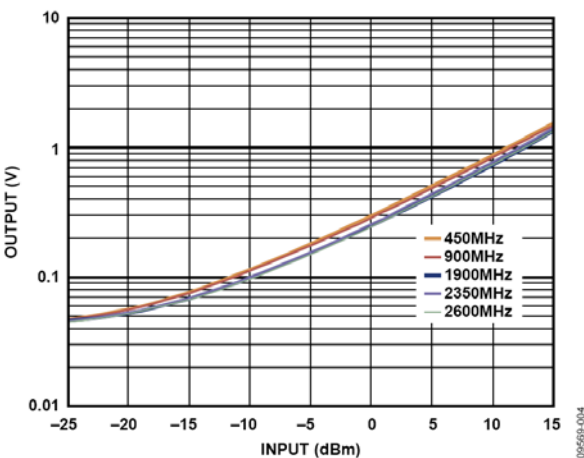


图 4. 测得的 PEAK 输出与输入电平 (对数比例) 的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

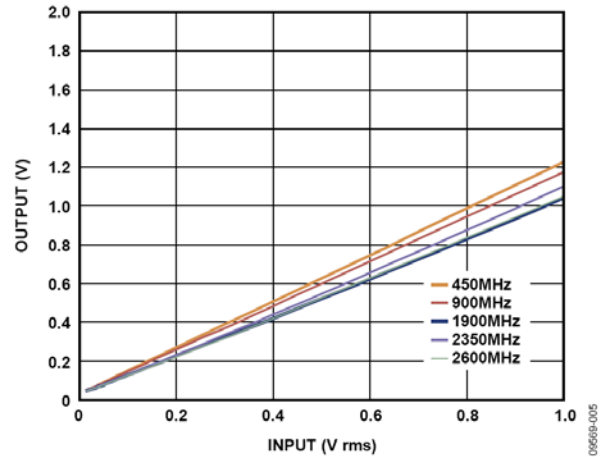


图 5. 测得的 PEAK 输出与输入电平 (线性比例) 的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

开启时间和脉冲响应明显受平方域滤波器大小( $C_{FLTR}$ )和连接至 VRMS 输出的输出分流电容影响。图 6 (摘自 ADL5502 数据手册) 显示输出响应与 RFIN 引脚上 RF 脉冲之间的曲线图, 带  $0.1 \mu F$  输出滤波器电容, 无平方域滤波器电容( $C_{FLTR}$ )。下降沿明显与输出分流电容相关。

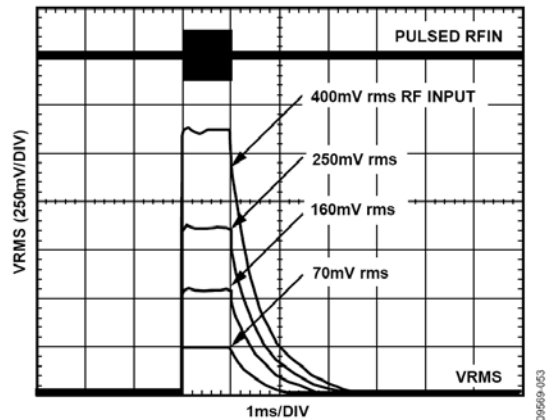


图 6. 输出响应与各种 RF 输入脉冲电平的关系, 3 V 电源, 900 MHz 频率, 平方域滤波器开启,  $0.1 \mu F$  输出滤波器

要改善使能和脉冲响应的下降沿, 可与输出分流电容并联放置电阻。添加的电阻有助于输出滤波器电容的放电。尽管该方法缩短了关断时间, 但添加的负载电阻也会衰减输出 (参见 ADL5502 数据手册的“输出驱动能力”和“缓冲”部分)。图 7 (摘自 ADL5502 数据手册) 显示通过添加  $1 \text{ k}\Omega$  并联电阻实现的改良。

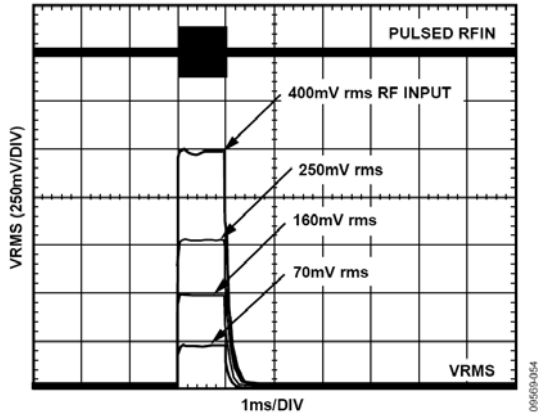


图7. 输出响应与各种 RF 输入脉冲电平的关系, 3 V 电源, 900 MHz 频率, 平方域滤波器开启, 0.1 μF 输出滤波器及 1 kΩ 并联电阻

ADL5502 的RMS和PEAK输出经过单位增益缓冲器, 后者驱动交叉耦合级, 将单端输出转换为差分信号。AD7266 的+2.5 V 内部基准电压源 (通过D<sub>CAP</sub>A和D<sub>CAP</sub>B引脚连接) 则经过另一个单位增益缓冲器和分压器, 这样, 网络共模电压即设定为 +1.25 V。

AD7266 可实现 RMS 和 PEAK 输出的同时采样, 并在 1 μs 响应时间内传输数据。数据通过单一串行数据线提供。由于斜率和截距随器件而改变, 必须执行板级校准以实现高精度。一般而言, 通过向 ADL5502 施加两个输入功率电平并测量相应的输出电压来执行校准。选择的校准点一般应在器件线性工作范围内, 最佳拟合线通过下式计算转换增益 (或斜率) 和截距来表征:

$$Gain = (V_{VRMS2} - V_{VRMS1}) / (V_{IN2} - V_{IN1}) \quad (1)$$

$$Intercept = V_{VRMS1} - (Gain \times V_{IN1}) \quad (2)$$

其中:

V<sub>IN</sub>是RFIN的rms输入电压。

V<sub>VRMS</sub>是VRMS的电压输出。

计算增益和截距后, 可得到一个公式, 进而根据测量的输出电压计算 (未知) 输入功率。

$$V_{IN} = (V_{VRMS} - Intercept) / Gain \quad (3)$$

对于理想 (已知) 输入功率, 测得的数据的法则一致性误差可计算如下:

$$ERROR (dB) = 20 \times \log \left( \frac{V_{VRMS, MEASURED} - Intercept}{Gain \times V_{IN, IDEAL}} \right) \quad (4)$$

图 8 和图 9 显示了 25°C 时 VRMS 与 PEAK 误差曲线图, 这是校准 ADL5502 时的温度。注意, 该误差不为零, 这是因为即使 ADL5502 在其工作区域内, 也无法完全符合理想线性公式。然而, 通过适当的调整, 可以使校准点处的误差等于零。

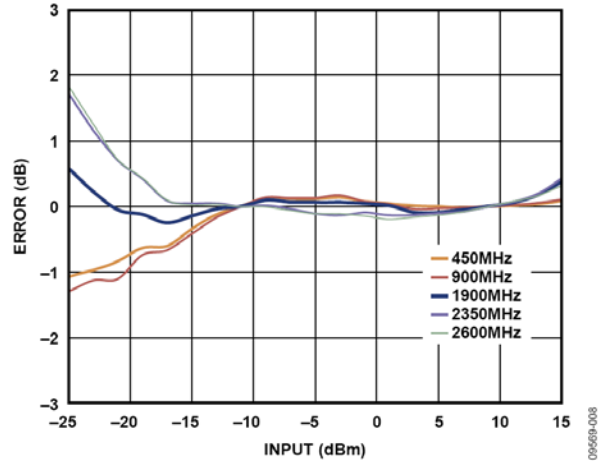


图8. 测得的 VRMS 线性度误差与输入电平的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

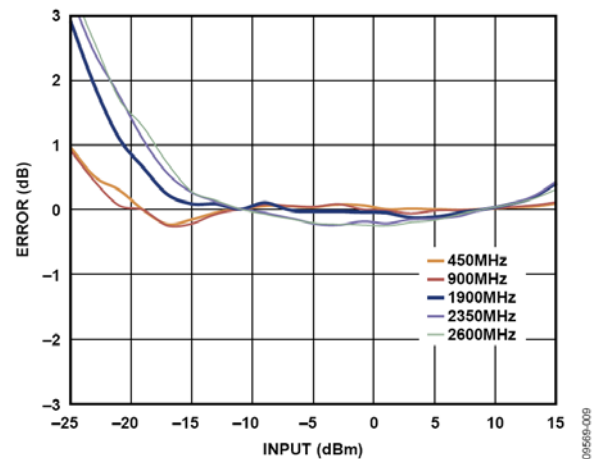


图9. 测得的 PEAK 线性度误差与输入电平的关系, 450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz, +3.3 V 电源

已知VRMS和PEAK输出特征 (斜率和截距) 时, 便可完成CF计算的校准。测量和计算任何波形的波峰因数必须采用三级过程。首先, 必须将未知信号施加于RF输入, 并测量相应的VRMS电平。该电平在图 10 中表示为V<sub>VRMS-UNKNOWN</sub>。RF输入V<sub>IN</sub>使用V<sub>VRMS-UNKNOWN</sub>和公式 3 计算。

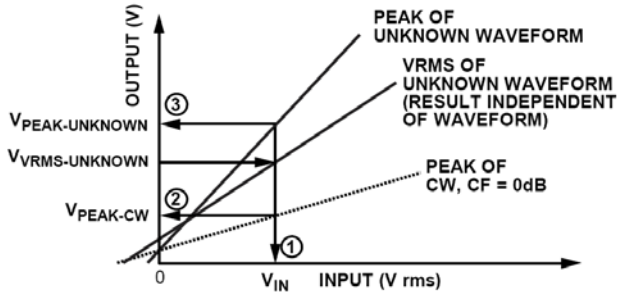


图 10. 波峰因数计算程序

接下来，使用  $V_{IN}$  计算 PEAK、 $V_{PEAK-CW}$  的 CW 基准电平（即输入波形是 CW 信号时看到的输出电压）。

$$V_{PEAK-CW} = (V_{IN} Gain_{PEAK}) + Intercept_{PEAK} \quad (5)$$

最后，测量 PEAK、 $V_{PEAK-UNKNOWN}$  的实际电平，CF 可计算为：

$$CF = 20 \log_{10}(V_{PEAK-UNKNOWN} / V_{PEAK-CW}) \quad (6)$$

其中， $V_{PEAK-CW}$  用作比较  $V_{PEAK-UNKNOWN}$  的基准点。如果两个  $V_{PEAK}$  值均相等，则 CF 为 0 dB，如图 11 中的 CW 信号所示（摘自 ADL5502 数据手册）。在整个动态范围内，计算出的 CF 在 0 dB 线附近波动。同样，对于 3 dB、6 dB 和 9 dB CF 的复杂波形，计算结果精确地在 CF 电平附近波动。

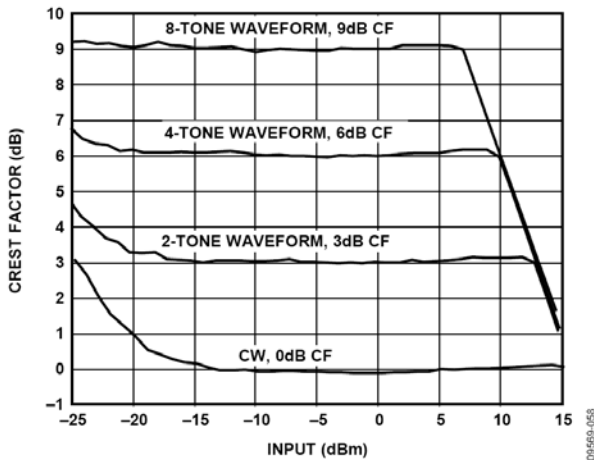


图 11. 报告的各种波形波峰因数

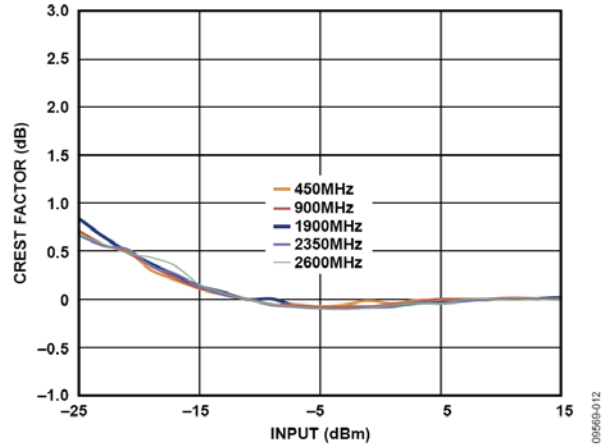


图 12. 测得的 CW 信号的波峰因数与输入电平的关系，450 MHz、900 MHz、1900 MHz、2350 MHz、2600 MHz，+3.3 V 电源

该电路或任何高速电路的性能都高度依赖于适当的 PCB 布局，包括但不限于电源旁路、受控阻抗线路（如需要）、元件布局、信号布线以及电源层和接地层。（有关 PCB 布局的详情，请参见 MT-031 教程、MT-101 教程和 [高速印刷电路板布局实用指南一文](#)。）有关本电路笔记的完整设计支持包，请参阅 <http://www.analog.com/CN0187-DesignSupport>。

### 常见变化

对于需要较小 RF 检波范围的应用，可以使用 AD8363 均方根检波器。AD8363 检波范围为 50 dB，工作频率最高达 6 GHz。对于非均方根检波应用，可使用 AD8317/AD8318/AD8319 或 ADL5513。这些器件提供不同的检波范围，输入频率范围最高达 10 GHz（有关详情参见 CN-0150）。

### 电路评估与测试

本电路使用 EVAL-CN0187-SDPZ 电路板和 EVAL-SDP-CB1Z 系统演示平台 (SDP) 评估板。这两片板提供 120 引脚的对接连接器，可以快速完成设置并评估电路性能。EVAL-CN0187-SDPZ 板包含要评估的电路，如本笔记所述。SDP 评估板与 CN0187 评估软件一起使用，可从 EVAL-CN0187-SDPZ 电路板获取数据。

### 设备要求

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista® (32位) 或 Windows® 7 (32位) PC
- EVAL-CN0187-SDPZ 电路评估板
- EVAL-SDP-CB1Z SDP 评估板
- CN0187 评估软件
- 电源电压: +6 V 或+6 V 壁式电源适配器
- RF 信号源
- 带 SMA 连接器的同轴 RF 电缆

### 开始使用

将 CN0187 评估软件光盘放入 PC 的光盘驱动器, 加载评估软件。打开“我的电脑”, 找到包含评估软件光盘的驱动器, 打开 Readme 文件。按照 Readme 文件中的说明安装和使用评估软件。

### 功能框图

电路框图参见本电路笔记的图 1, 电路原理图参见“EVAL-CN0187-SDPZ-SCH”pdf文件。此文件位于[CN0187 设计支持包](#)中。

### 设置

EVAL-CN0187-SDPZ 电路板上的 120 引脚连接器连接到 EVAL-SDP-CB1Z (SDP)评估板上标有“CON A”的连接器。应使用尼龙五金配件, 通过 120 引脚连接器两端的孔牢固固定这两片板。使用适当的 RF 电缆, 通过 SMA RF 输入连接器将 RF 信号源连接至 EVAL-CN0187-SDPZ 板。在断电情况下, 将一个+6 V 电源连接到板上标有+6 V 和 GND 的引脚。如果有 +6 V 壁式电源适配器, 可以将它连接到板上的管式插孔连接器, 代替+6 V 电源。SDP 板附带的 USB 电缆连接到 PC 上的 USB 端口。注意: 此时请勿将该 USB 电缆连接到 SDP 板上的微型 USB 连接器。

### 测试

为连接到 EVAL-CN0187-SDPZ 电路板的+6 V 电源(或壁式电源适配器) 通电,启动评估软件, 并通过 USB 电缆将 PC 连接到 SDP 板上的微型 USB 连接器,如果“设备管理器”中列出了“ADI 系统开发平台”驱动程序, 则软件能够与 SDP 板通信。

一旦 USB 通信建立, 就可以使用 SDP 板来发送、接收、捕捉来自 EVAL-CN0187-SDPZ 板的串行数据。

本电路笔记中的数据通过 Rohde & Schwarz SMT-03 RF 信号源和 Agilent E3631A 电源产生。信号源设定为图表所示频率, 输入功率按 1 dB 步进, 数据按 1 dB 增量记录。

有关如何使用评估软件来捕捉数据的详细信息, 请参阅 CN0187 评估软件 Readme 文件。

有关SDP板的信息, 请参阅[SDP用户指南](#)。

### 进一步阅读

CN0187 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0187-DesignSupport>  
SDP User Guide

Ardizzoni, John. *A Practical Guide to High-Speed Printed-CircuitBoard Layout*, Analog Dialogue 39-09, September 2005.

CN-0150 Circuit Note, *Software-Calibrated, 1 MHz to 8 GHz, 70 dB RF Power Measurement System Using the AD8318 Logarithmic Detector*, Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of “AGND” and “DGND”*, Analog Devices.

MT-073 Tutorial, *High Speed Variable Gain Amplifiers (VGAs)*, Analog Devices.

MT-077 Tutorial, *Log Amp Basics*, Analog Devices.

MT-078 Tutorial, *High Speed Log Amps*, Analog Devices.

MT-081 Tutorial, *RMS-to-DC Converters*, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

Whitlow, Dana. *Design and Operation of Automatic Gain Control Loops for Receivers in Modern Communications Systems*. Chapter 8. Analog Devices Wireless Seminar. 2006.

### 数据手册和评估板

CN-0187 Circuit Evaluation Board (EVAL-CN0187-SDPZ)

System Demonstration Platform (EVAL-SDP-CB1Z)

ADL5502 Data Sheet

ADL5502 Evaluation Board

AD7266 Data Sheet

AD7266 Evaluation Board

ADA4891 Data Sheet

## 修订历史

4/11—Revision 0: Initial Version

(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" 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.

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
CN09569-0-4/11(0)

[www.analog.com](http://www.analog.com)