

利用 ADI 公司产品进行电路设计
放心运用这些配套产品迅速完成设计。
欲获得更多信息和技术支持, 请拨打 4006-100-006 或
访问 www.analog.com/zh/circuits。

连接/参考器件

ADL5902	50 MHz至 9 GHz、65 dB TruPwr™检波器
AD7466	低功耗、12 位、200 kSPS SAR ADC

通过软件校准的 50 MHz 至 9 GHz RF 功率测量系统

电路功能与优势

该电路使用 ADL5902 TruPwr™ 检波器测量 RF 信号的均方根信号强度, 信号波峰因素 (峰值均值比) 在约 65 dB 的动态范围内变化, 工作频率为 50 MHz 至 9 GHz。

测量结果在 12 位 ADC (AD7466) 输出端以串行数据形式提供。在数字域中针对环境温度执行简单的 4 点系统校准。

RF 检波器与 ADC 之间的接口很简单, 由两个信号调整电阻组成, 无有源元件。此外, ADL5902 内部 2.3 V 基准电压为低功耗 ADC 提供电源和基准电压。AD7466 无流水线延迟, 可作为只读 SAR ADC。

整个电路实现了约 ±0.5 dB 的温度稳定性。

显示的数据是针对在 -40°C 至 +85°C 温度范围内工作的两个器件。

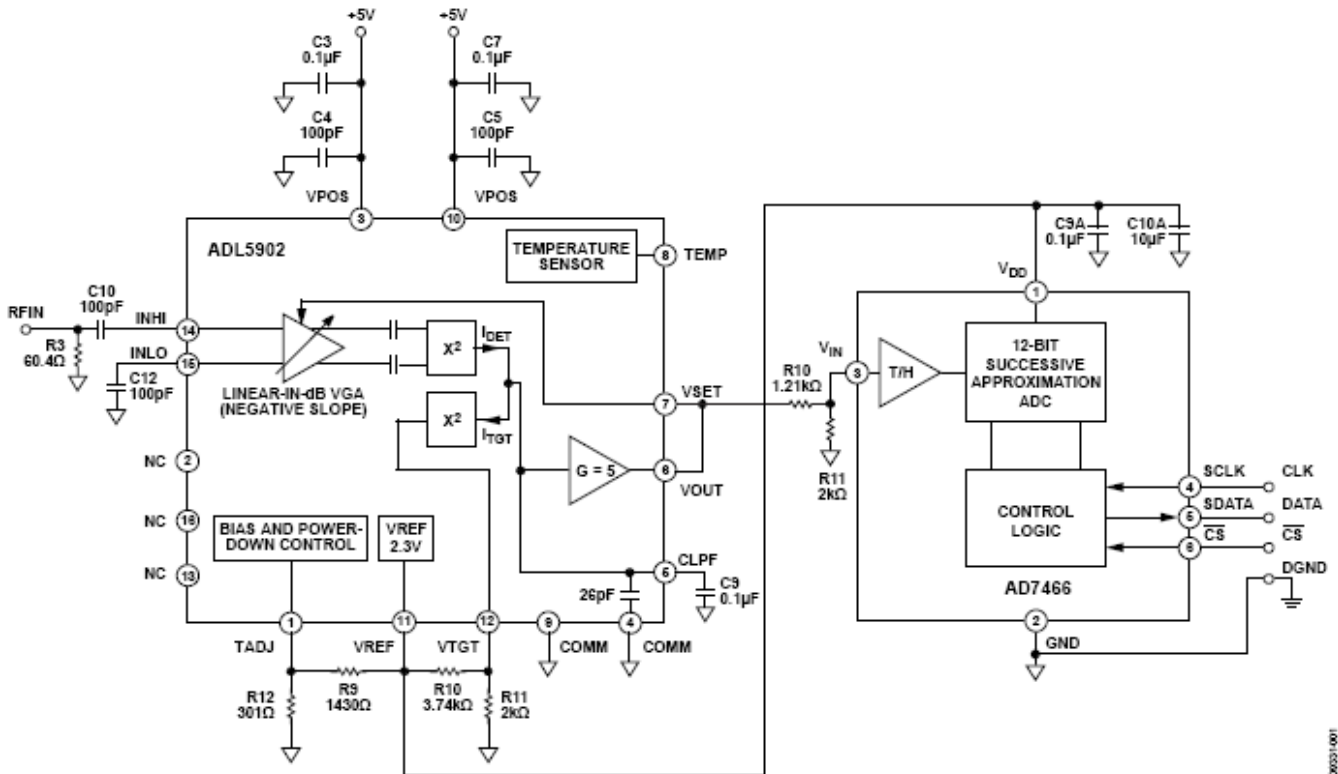


图 1. 通过软件校准的 RF 功率测量系统

Rev.0

“Circuits from the Lab” 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 “Circuit from the Lab”. (Continued on last page)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

电路描述

测量的 RF 信号施加于 ADL5902 的输入端，即 dB 线性 rms 响应均方根检波器。外部 60.4 Ω 电阻 R3 结合 ADL5902 的较高输入阻抗，确保宽带 50 Ω 与 RF 输入匹配。ADL5902 以所谓的“测量模式”配置，VSET 和 VOUT 引脚相连。在此模式下，输出电压与输入均方根值的对数成比例。换言之，读数以分贝值直接呈现，每到十倍调整至 1.06 V，或者 53 mV/dB。

AD7466 12 位 ADC 的电源电压和基准电压由 ADL5902 内部 2.3 V 基准电压源提供。由于 AD7466 消耗的电流极少（以 10 kSPS 采样时仅为 16 μA），ADL5902 的基准电压输出足以向 ADC 以及由 R9、R10、R11、R12 组成的温度补偿和均方根精度调整网络供电。

ADC 满量程电压等于 2.3 V。最大检波器输出电压（在线性输入范围内工作时）约为 3.5 V（参见 ADL5902 数据手册图 6、7、8、12、13 及 14），因此在驱动 AD7466 前必须降低 0.657 倍。这个降低过程通过简单的电阻分压器 R10 和 R11（1.21 kΩ 和 2.0 kΩ）来实现。以上数值可实现 0.623 的实际比例因子，通过建立电阻容差余量确保 ADL5902 RF 检波器不会过驱 ADC。

图 2 显示的是检波器输出电压与输入功率的典型曲线（无输出调整）。

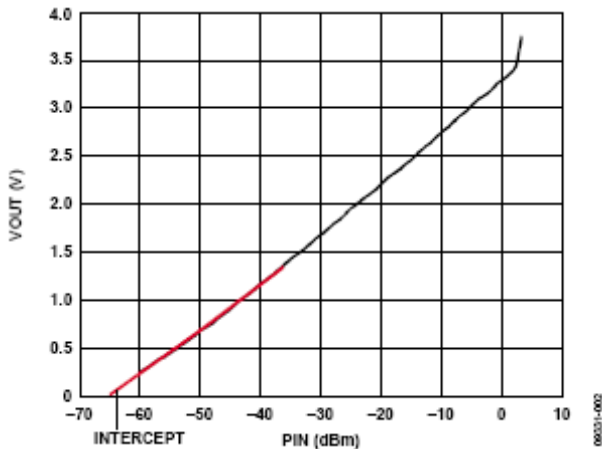


图2. ADL5902 均方根检波器在900 MHz 时的输出电压与输入功率的关系
该检波器的传递函数可通过以下公式计算近似值：

$$VOUT = SLOPE_DETECTOR \times (PIN - INTERCEPT)$$

其中 SLOPE_DETECTOR 是检波器斜率，单位为 mV/dB；INTERCEPT 是 x 轴截距，单位为 dBm；PIN 是输入功率，单位为 dBm。

在 ADC 输出端，VOUT 由 ADC 输出代码取代，公式可改写为：

$$CODE = SLOPE \times (PIN - INTERCEPT)$$

其中 SLOPE 是检波器、调整电阻及 ADC 的组合斜率，单位为次/dB；PIN 和 INTERCEPT 单位仍为 dBm。

图 3 显示的是典型检波器输入功率的功率扫描以及在 700 MHz 输入信号下观察到的 ADC 输出代码。

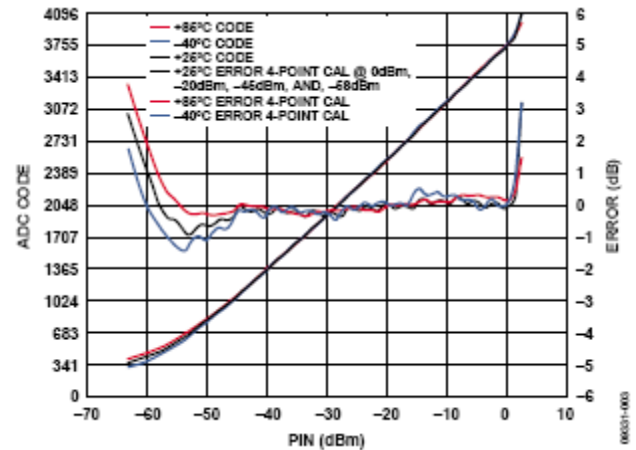


图3. 700 MHz 下的 ADC 输出代码及误差与 RF 输入功率的关系

总体斜率和截距随系统的不同而变化，该变化是由 RF 检波器、调整电阻和 ADC 传递函数的器件间差异造成的。因此需要系统级校准以确定整个系统的斜率和截距。本应用中，使用 4 点校准校正 RF 检波器传递函数内的某些非线性，特别是在低端位置。该 4 点校准方案产生三个斜率和三个截距校准系数，这些数值在校准后应存储在非易失 RAM (NVM) 内。通过向 ADL5902 施加四个已知信号电平执行校准，从 ADC 测量相应的输出代码。选择的校准点应在器件线性工作范围内。本例中，校准点位于 0 dBm、-20 dBm、-45 dBm 及 -58 dBm。

斜率和截距校准系数通过以下公式计算：

$$SLOPE1 = (CODE_1 - CODE_2) / (PIN_1 - PIN_2)$$

$$INTERCEPT1 = CODE_1 / (SLOPE_ADC \times PIN_1)$$

接着使用 CODE_2/CODE_3 和 CODE_3/CODE_4 重复计算，分别得出 SLOPE2/INTERCEPT2 和 SLOPE3/INTERCEPT3。六个校准系数应与 CODE_1、CODE_2、CODE_3、CODE_4 一起存储在 NVM 内。

当电路在现场工作时，这些校准系数用于计算未知的输入功率电平 PIN，公式如下：

$$PIN = (CODE/SLOPE) + INTERCEPT$$

为了在电路工作期间获得适当的斜率和截距校准系数，从 ADC 观察到的 CODE 必须与 CODE_1、CODE_2、CODE_3、CODE_4 进行比较。例如，如果来自 ADC 的 CODE 在 CODE_1 与 CODE_2 之间，则应使用 SLOPE1 和 INTERCEPT1。该步骤还可用于提供欠量程或超量程警告。例如，如果来自 ADC 的 CODE 大于 CODE_1 或小于 CODE_4，表示测得的功率在校准范围以外。

图 3 还显示了电路传递函数变化与以上直线公式的关系。该误差函数由传递函数边沿弯曲、线性工作范围内的小纹波以及温度漂移造成。误差以 dB 表示，公式如下：

$$\begin{aligned} \text{误差 (dB)} &= \text{计算的 RF 功率} - \text{实际输入功率} \\ &= (CODE/SLOPE) + INTERCEPT - PIN_TRUE \end{aligned}$$

图 3 还包括了误差与温度的关系曲线。本例中，将在+85°C 和-40°C 下测得的 ADC 代码与环境温度下的直线公式进行比较。该方法与现实系统一致，系统校准一般只能在环境温度下进行。

图 4 和图 5 分别显示电路在 1 GHz 和 2.2 GHz 下的性能。

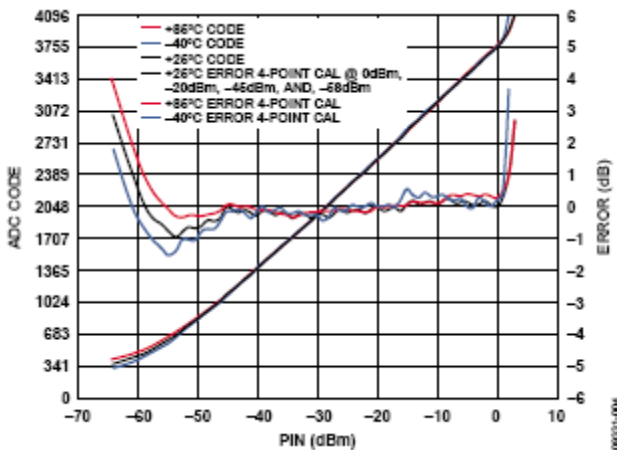


图 4. 1 MHz 下的 ADC 输出代码及误差与 RF 输入功率的关系

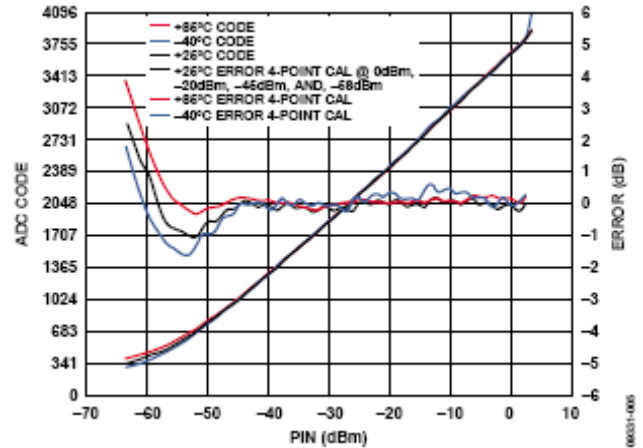


图 5. 2.2 MHz 下的 ADC 输出代码及误差与 RF 输入功率的关系

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。）

测试设置由 ADL5902-EVALZ 和 EVAL-AD7466CBZ 评估板组成，两者使用 SMA 至 SMB 适配器电缆相连。置于环境室内进行温度测试。评估控制板 2(EVAL-CONTROL-BRD2Z) 通过测试室门内的插槽连接至 AD7466 评估板；也就是 ADL5902 和 AD7466 评估板位于测试室内，评估控制板留在外部。控制板用于发送、接收和捕捉来自 AD7466 评估板的串行数据。ECB2 并行端口连接至笔记本电脑。笔记本电脑用于加载、运行和查看 ECB2 上的 AD7466 评估软件。ADL5902 评估板所需的 RF 输入信号由 Rhode & Schwarz SMT-03 RF 信号源提供。使用 Agilent E3631A 电源为 ADL5902 供电。有关详情请参见 AD7466 评估板原理图和 ADL5902 数据手册。

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）。

AD7466 是单通道 12 位ADC，采用SPI接口。如果终端应用需要多通道ADC，可使用双通道 12 位AD7887。在需要多个ADC和DAC通道的多通道应用中，可使用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I²C兼容接口读取。

进一步阅读

Ardizzoni, John. *A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board 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

[ADL5902 Data Sheet](#)
[ADL5902 Evaluation Board](#)
[AD7466 Data Sheet](#)
[AD7466 Evaluation Board](#)

修订历史

10/10—Rev. 0: Initial Version

(Continued from first page) "Circuits from the Lab" 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" 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". 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" at any time without notice, but is under no obligation to do so. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.