

概述

交流电压波形的均方根 (RMS) 值表示负载上的有效电压，即 RMS 值等于可向负载提供相同功率的直流电压。RMS 值用于评估交流电源的电源质量。计算 RMS 值有两种常用的方法，即 *RMS 均值法* 和 *真 RMS 法*。真 RMS 法是一种超集技术，可用于非周期性信号，包括线性和非线性负载。在电网应用中，由于系统中会出现正弦和非正弦电压与电流，因此需要使用该技术。因此、用于此类评估的电气测量仪器需要能够计算交流信号的 RMS。本文重点介绍了 ADS7x28 系列 ADC 器件中集成的真 RMS 模块的性能。

什么是真 RMS？

任何信号的 RMS 值均为其平方平均值的平方根，如 [方程式 1](#) 所示。

$$e_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (1)$$

其中

- T = 信号的时间周期
- V = 信号的瞬时电压
- t = 时间

真 RMS 法能够计算正弦信号和非正弦信号的 RMS。真 RMS 测量电路首先对输入信号进行平方运算，然后在一段时间内对结果求平均值。随后会计算平均值的平方根，从而最终计算出输入信号的精确 RMS 值。

观察窗口

观察窗口 是真 RMS 测量电路检测输入信号来计算结果的时间。为了准确计算真 RMS，*观察窗口* 必须包含输入信号的整数个半周期。[图 1](#) 展示了一个 *观察窗口* 内包含 2 个半周期的正弦信号示例。如果 *观察窗口* 不包含整数个半周期 (如 [图 2](#) 所示)，则真 RMS 计算不准确。

虽然只需一个半周期就能计算真 RMS 值，但 *观察窗口* 需要足够数量的半周期才能准确计算真 RMS。要得到误差小于 0.5% 的真 RMS 值，至少需要包含 32 个半周期。通常，随着输入信号的频率增加，在相同的 *观察窗口* 内会观察到更多的周期，因此 RMS 误差会降低。

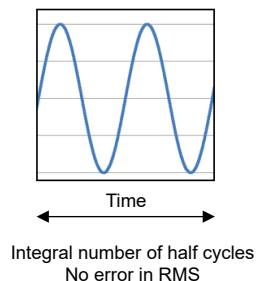


图 1. 具有整数个半周期的观察窗口

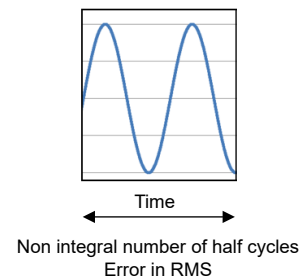


图 2. 没有整数个半周期的观察窗口

ADS7x28 RMS 模块

ADS7x28 是一款集成真 RMS 模块的 8 通道、12 位 SAR ADC。用户可以选择任一模拟输入通道来计算 RMS 结果。ADS7x28 用于计算真 RMS 值的 *观察窗口* 可以在器件内使用 [方程式 2](#) 进行配置：

$$\text{observation Window} = \frac{\text{RMS_SAMPLES}}{f_{\text{CYCLE}}} \text{seconds} \quad (2)$$

其中

- RMS_SAMPLES 是用于计算 RMS 值的样本总数
- f_{CYCLE} 是 ADC 的采样率

根据观察窗口内至少应包含输入信号的 32 个半周期的建议，表 1 列出了与输入信号频率相关的建议观察窗口以及用于实现相应观察窗口的 ADS7x28 配置。

表 1. 建议的观察窗口长度

输入信号 频率截止值	RMS_SAMPLES	f_{CYCLE}	最小观察 窗口
≤ 80Hz	65536	333.3kSPS	200ms
≤ 40Hz	65536	166.7kSPS	400ms
≤ 20Hz	65536	83kSPS	800ms
≤ 10Hz	65536	41.7kSPS	1600ms
≤ 5Hz	65536	20.8kSPS	3200ms

仅交流的 RMS

ADS7x28 能够从真 RMS 测量值中减去直流输入信号分量，从而计算出仅含交流分量的 RMS 值。如果需要输入信号中仅交流分量的真 RMS 值，则可以按照表 2 中所示的器件 DC_SUB 寄存器的配置设置来启用减去直流分量的功能。

表 2. 配置真 RMS 测量

真 RMS 测量	DC_SUB 寄存器
交流 + 直流	0b
仅交流	1b

当选择仅交流输入信号分量时，器件会实现方程式 3。

$$\text{RMS} = \sqrt{(\text{AC} + \text{DC})_{\text{avg}}^2 - \text{DC}_{\text{subtraction}}^2} \quad (3)$$

图 3 展示了在未经校准的情况下 RMS 测量百分比误差与输入电压间的关系，这意味着使用了仅交流设置。

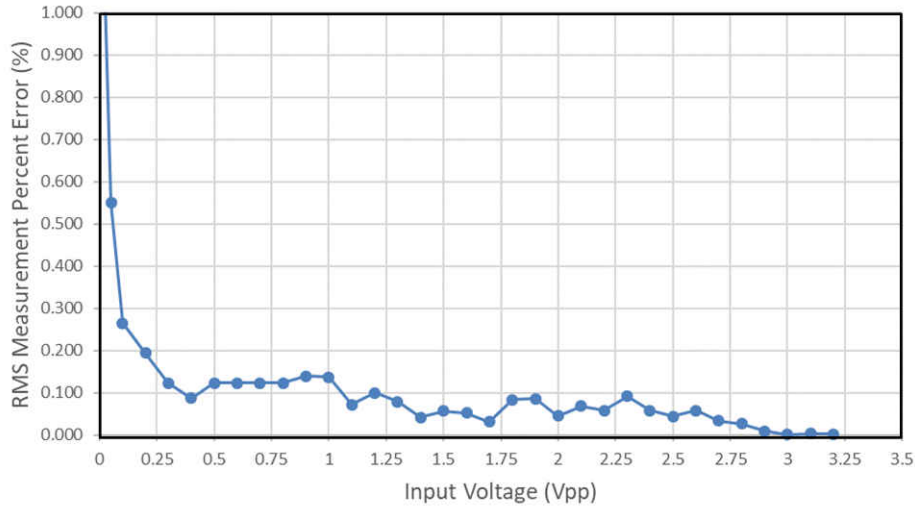


图 3. 仅交流 百分比误差

改善仅交流 RMS 结果

对计算的 RMS 进行校准可通过以下公式改善使用仅交流时的 RMS 结果：方程式 4。

$$\text{Calibrated RMS} = \text{AC}_{\text{RMS}} - \frac{\text{DC}_{\text{RMS}}^2}{2 \times \text{AC}_{\text{RMS}}} \quad (4)$$

校准步骤：

1. 将单极输入信号连接到 ADS7x28 的一个通道
2. 将直流失调电压连接到另一个通道
3. 计算输入信号所在通道的仅交流 RMS (AC_{RMS})
4. 计算仅施加直流失调电压的通道的仅交流 RMS (DC_{RMS})
5. 使用方程式 4 来求解校准后的 RMS 值

图 4 展示了根据输入信号的峰峰值电压绘制的校准后 RMS 百分比误差。校准 RMS 结果可降低 RMS 误差的幅度。

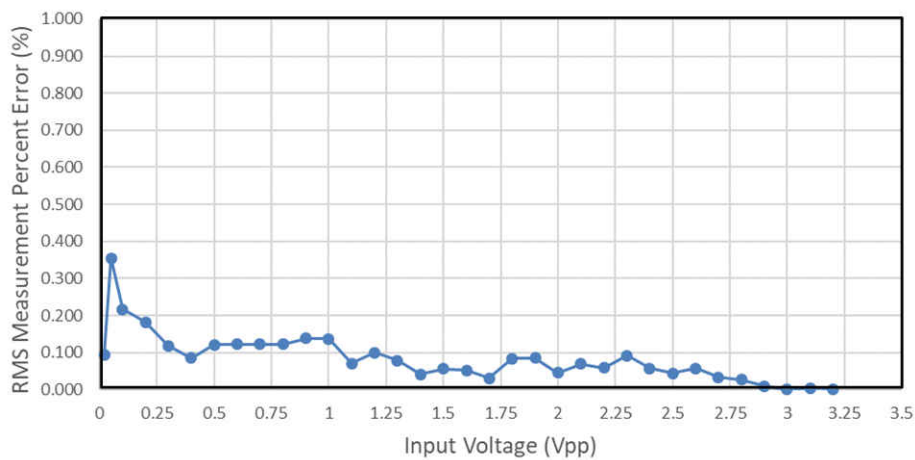


图 4. ADS7128 RMS 测量百分比误差与输入电压间的关系 (校准后)

结论

本应用手册详细介绍了使用 ADS7x28 器件进行 RMS 计算的优点。

- **通过软件进行设置**：通过软件选择设置。无需更改硬件。
- **简单易用**：只需根据输入信号的频率范围，通过简单的软件设置选择 *观察窗口*。频率可以通过内置的过零检测器模块进行测量。计算时间不随波峰因数、输入信号波形和输入信号振幅等而变化。
- **校准功能**：通过使用一个简单的公式进行校准可以改善误差。
- **紧凑的设计尺寸**：单芯片设计
- **低功耗要求**
- **单极电源**

表 3. 具有 RMS 模块的 ADC

器件	说明
ADS7128	具有 I ² C 接口的小型 8 通道、12 位 ADC
ADS7028	具有 SPI 的小型 8 通道、12 位 ADC

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司