

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。

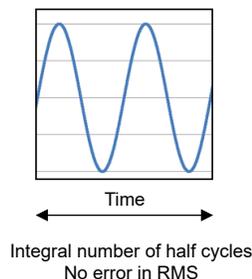


图 1. 具有整数个半周期的观察窗口

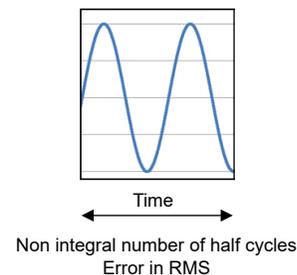


图 2. 没有整数个半周期的观察窗口

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。

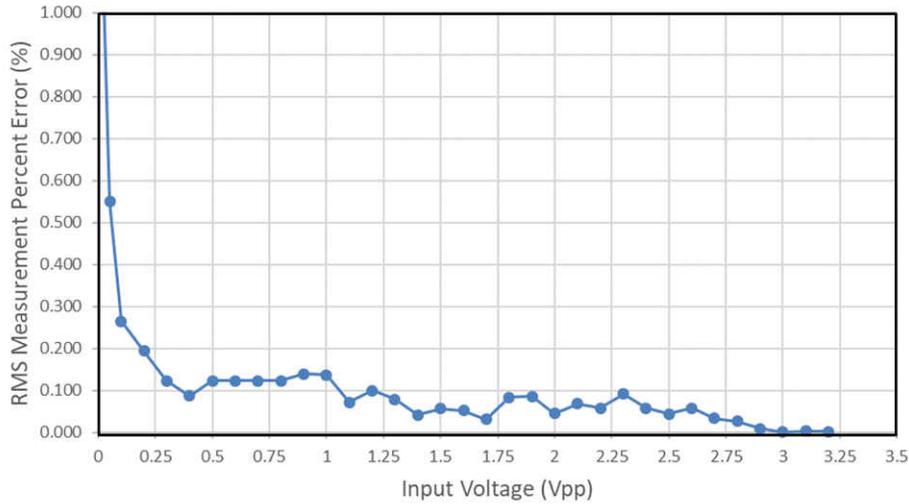


图 3. 仅交流 百分比误差

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。

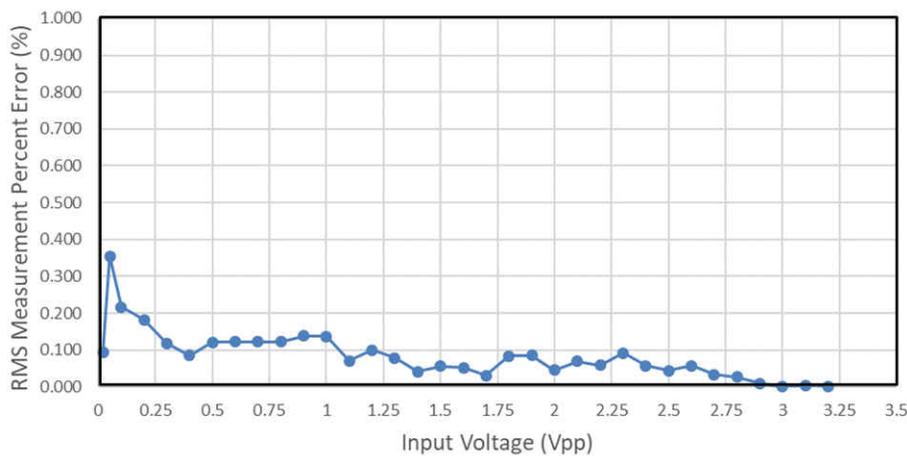


图 4. ADS7128 RMS 测量百分比误差与输入电压间的关系 (校准后)

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