

Application Note

使用 **ADS125H18** 开路电流源 (OWCS) 特性检测工业 PLC 系统中的断线问题



Bryan Lizon

摘要

本应用手册全面分析了 **ADS125H18** 开路电流源 (OWCS) 功能，该功能可让用户检测工业自动化系统中的断线问题。本应用手册探讨了与 OWCS 功能相关的几个重要主题，包括单端和差分输入的断线检测有何不同，理论上的 OWCS 行为，以及在各种条件下使用实际测量验证的性能。此外，本应用手册还提供了建议的 OWCS 算法和随附的示例代码，以及有关在双冗余工业自动化系统中使用 OWCS 功能的必然讨论。借助本文档中的信息，可使用 **ADS125H18** 及其独特的开路检测功能设计稳健、可靠的模拟输入模块。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	3
2.1 了解 ADS125H18 OWCS 运行情况.....	3
2.2 对单端输入信号使用 OWCS.....	4
2.3 对差分输入信号使用 OWCS.....	19
2.4 使用 ADS125H18 通道序列发生器来实现 OWCS 算法.....	35
3 总结.....	47
4 参考资料.....	48
5 附录 A.....	49
5.1 使用带冗余系统的 OWCS.....	49

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

现代工业操作系统在工厂或设备的监测和运行中通常使用过程级电压 ($\pm 10V$) 信号。模拟输入模块持续接收这些信号并将其转换为数字信号，以便控制系统能够快速、准确地做出决策。然而，发送器和模拟输入模块之间的断线等随机故障可能会干扰该信号。图 1-1 显示了此类系统的一个示例，其中单端模拟输入的信号线上发生了断线问题。

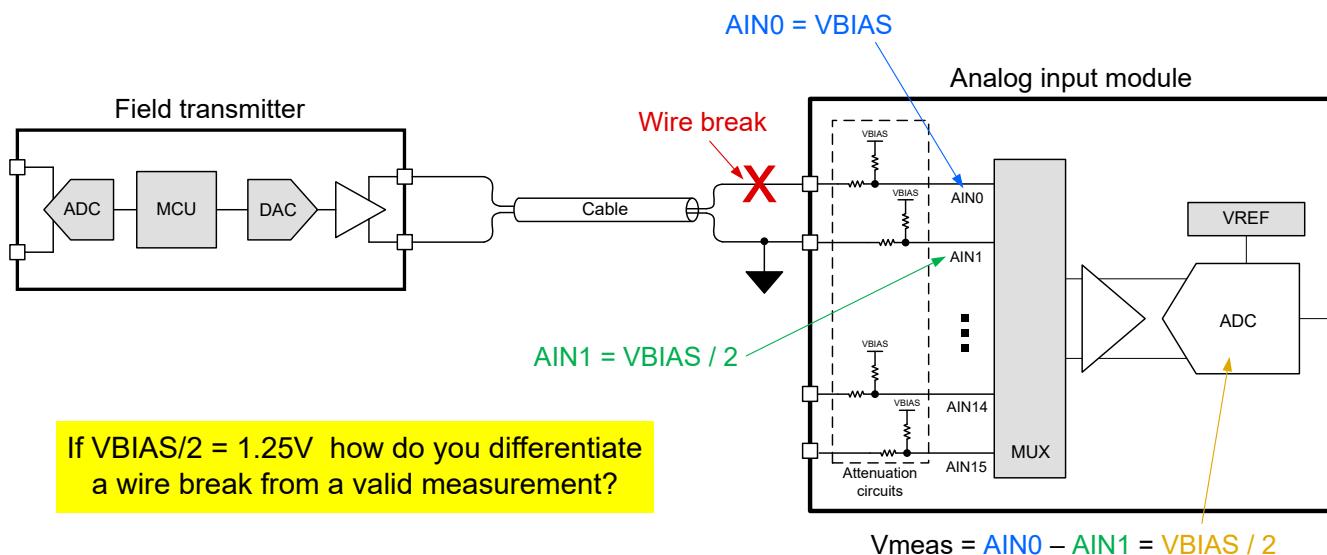


图 1-1. 现场变送器和 PLC 模拟输入模块之间的断线问题

图 1-1 显示了断线导致 AIN0 输入被拉至 VBIAS 电压，而在本示例系统中，AIN1 输入被拉至 VBIAS / 2。然后，ADC 测量 VBIAS / 2 = 1.25V 的电压差，该电压差完全处于 $\pm 10V$ 有效输入范围内。系统如何将此故障状况与合法输入电压区分开？如果此系统正在测量气体管道中的压力，而该管道现在未被监测或提供了假阴性，会发生什么情况？在这些情况下，检测故障和错误对于使系统进入已知安全状态并提醒操作人员出现问题至关重要。

为了满足工业系统的关键需求，本应用手册描述了 ADS125H18 中开放式电流源 (OWCS) 功能的操作和验证，其为一种 24 位 1MSPS delta-sigma ($\Delta \Sigma$) 模数转换器 (ADC)，设计用于模拟输入模块。本文档详细说明了以下主题：

- 了解 ADS125H18 OWCS 运行情况
- 对单端输入信号使用 OWCS
- 使用具有差分输入信号的 OWCS
- 使用 ADS125H18 通道序列发生器来实现 OWCS 算法

本文档还包含一个附录，其中讨论了使用两个 ADS125H18 器件测量相同输入信号的冗余系统的 OWCS 行为如何变化。

2 详细说明

2.1 了解 ADS125H18 OWCS 运行情况

ADS125H18 包括 16 个可配置模拟输入。每个模拟输入由一个高阻抗分压器组成，该分压器带有集成的精确匹配电阻器，可将输入电压按比例缩小到 ADC 输入范围内。OWCS 功能的工作原理是向 ADS125H18 电阻分压器与输入多路复用器之间的节点注入小电流。ADS125H18 在多路复用器后包含一个缓冲器，使电流仅流经电阻分压器和源阻抗 R_{SOURCE} 。在禁用了 OWCS 和启用了 OWCS 的情况下比较数据允许用户计算与 R_{SOURCE} 相关的阈值。阻抗变化较大可能表示开路。图 2-1 显示了一个简化的 ADS125H18 方框图，其中测量了单端输入，OWCS 路径以红色突出显示：

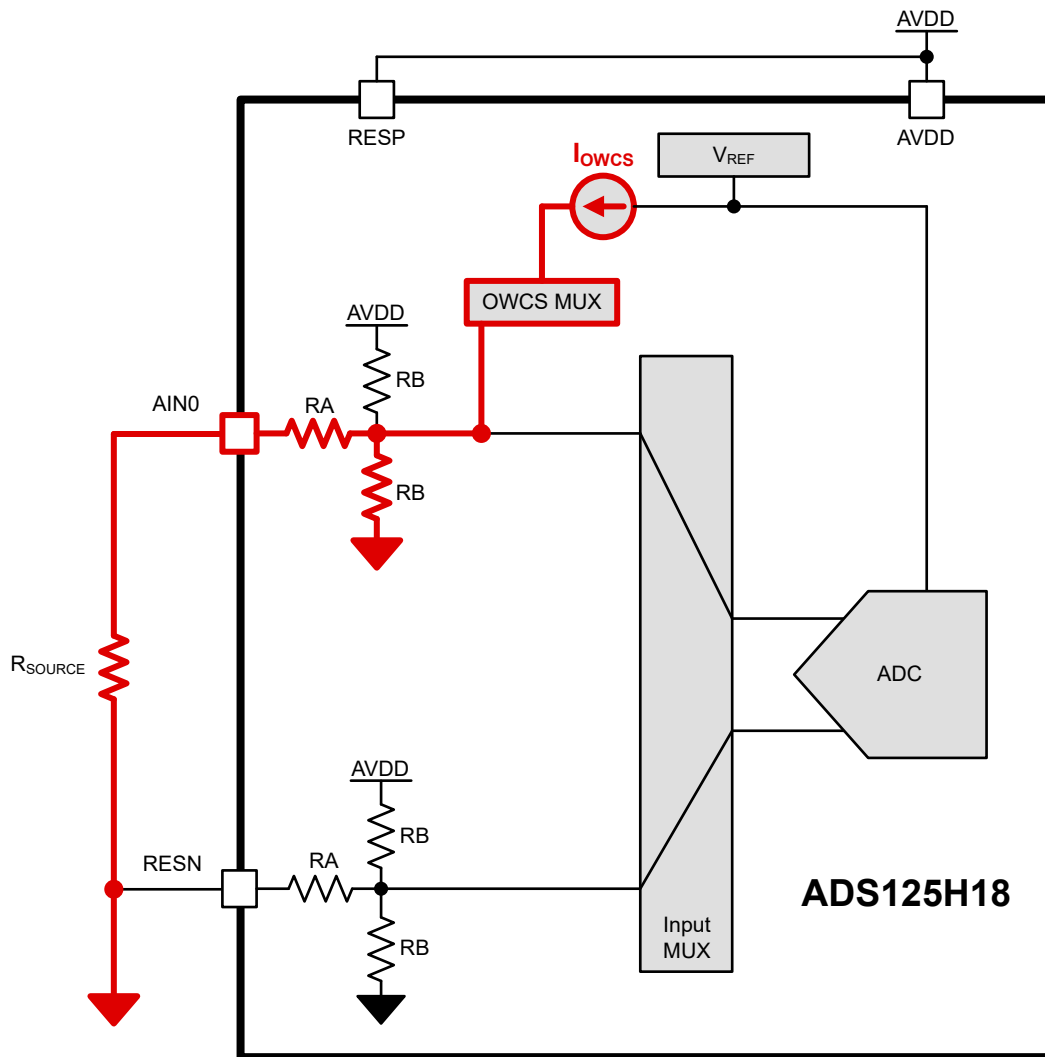


图 2-1. 搭配使用 ADS125H18 OWCS 功能和单端输入

以下列表提供了有关使用 OWCS 进行开路检测的几个要点：

- 预测中断需要计算基线测量（OWCS 开启）和检测测量（OWCS 关闭）之间的差值（delta）。方程式 1 显示 OWCS delta 计算的一般形式：

$$OWCS_{Delta} = \frac{(V_{OWCS_on} - V_{OWCS_off})}{V_{REF}} \quad (1)$$

- OWCS 检测方案假设输入电压和源阻抗在禁用 OWCS 与启用 OWCS 的测量之间没有变化。建议背对背测量这些信号，并尽快避免检测错误。

- 检测差分输入的开路需要两个单独的单端测量：正输入通道一个基线和一个检测测量，负输入通道一个基线和一个检测测量。不过，对差分输入执行检测例程理论上应在正负输入通道之间产生相同结果
- 开路检测差异因以下各项而异：
 - 单端测量和差分测量
 - 不同版本的 ADS125H18 (V12、V20 或 V40)

表 2-1 列出了不同 ADS125H18 版本的重要 OWCS 参数：

表 2-1. 重要 OWCS 参数

ADS125H18 版本	衰减系数	RA (MΩ)	RB (MΩ)	I _{OWCS_NOM} (μA/V)
V12	7	1.125	0.375	1
V20	10	1.125	0.250	2
V40	19	1.125	0.125	4

图 2-1 显示 ADC 电压基准 V_{REF} ，为 OWCS 电流源供电。表 2-1 也反映了这种行为，因为标称 OWCS 电流单位是 $\mu A/V$ ，使得 OWCS 电流与 V_{REF} 成比例。方程式 2 表示相对于 OWCS 输出电流 I_{OWCS} 的这种关系：

$$I_{OWCS} = I_{OWCS_NOM} \times V_{REF} \quad (2)$$

最终，基准电压值不会影响检测阈值。无论用户选择内部电压基准还是应用外部基准电压，都存在这种行为。有关 OWCS 行为以及器件寄存器映射的更多信息，请参阅 [ADS125H18 数据表](#)。

2.2 对单端输入信号使用 OWCS

以下各部分介绍了用户将单端输入应用于 ADS125H18 时的 OWCS 行为：

- [分析单端输入信号的 OWCS 行为](#)
- [使用 ADS125H18EVM 验证具有单端输入的 OWCS 操作](#)

2.2.1 分析单端输入信号的 OWCS 行为

本节分析了在 ADS125H18 上施加具有源阻抗 R_{SOURCE} 的单端输入时 OWCS 的行为。图 2-2 显示了用于分析禁用 OWCS 和单端 R_{SOURCE} 阻抗的单端输入的电路：

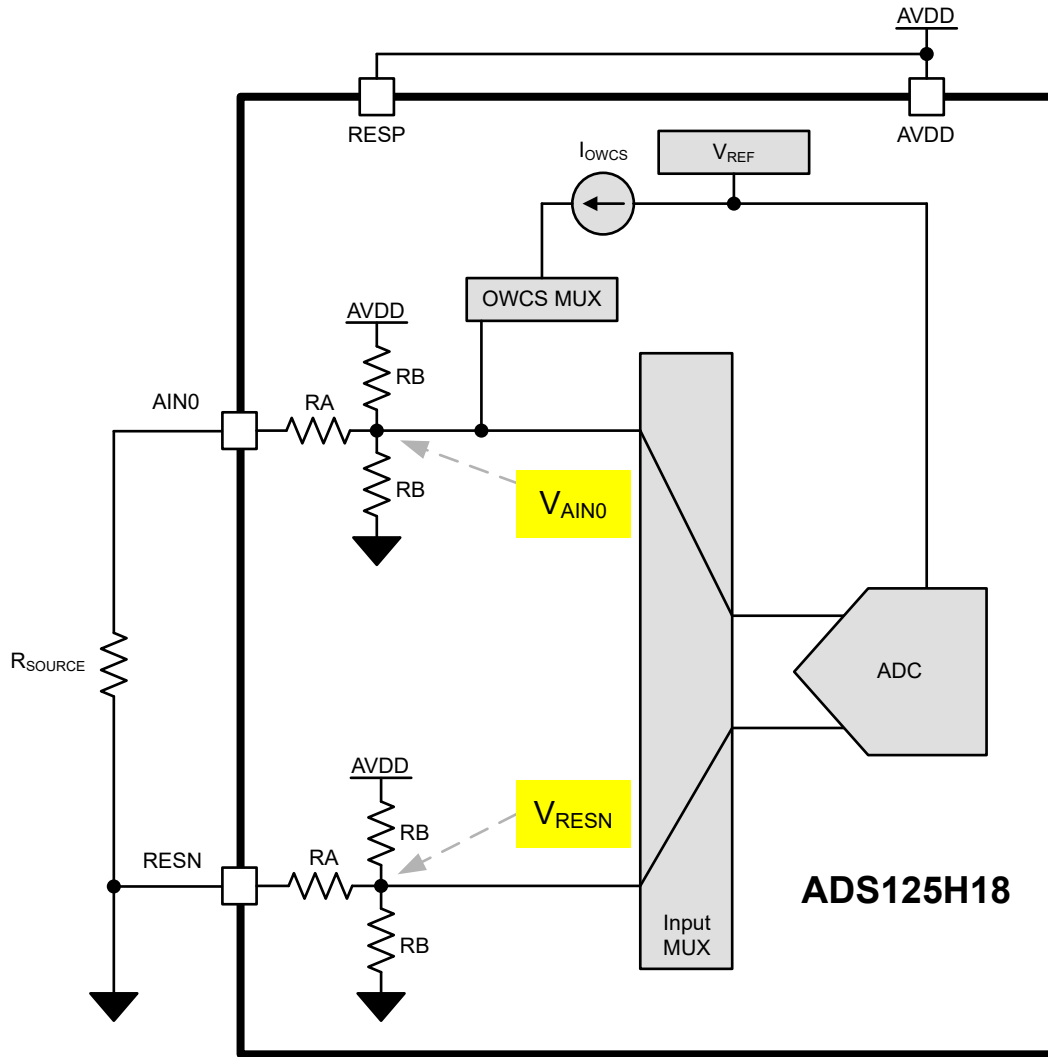


图 2-2. 分析单端输入信号的 OWCS 行为

ADC 测量图 2-2 中节点 V_{AIN0} 和 V_{RESN} 之间的单端电压差，使得方程式 1 可扩展为方程式 3：

$$OWCS_{Delta_SE} = \frac{([V(AIN0)_{OWCS_on} - V(RESN)_{OWCS_on}] - [V(AIN0)_{OWCS_off} - V(RESN)_{OWCS_off}])}{V_{REF}} \quad (3)$$

使用叠加以通过短路电压源或打开电流源来分析电路中每个源的电压贡献。例如，图 2-3 显示在启用 OWCS 的情况下计算 $AIN0$ 处的总电压 $V(AIN0)_{OWCS_SE}$ 需要三种不同的叠加配置：

- $V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} = AVDD$ ($AIN0$) 已连接，删除了所有其他源 (图 2-3, 左)
- $V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE} = AVDD$ ($RESN$) 已连接，删除了所有其他源 (图 2-3, 中间)
- $V(AIN0)_{AIN0_OWCS_SE} = I_{OWCS}$ 已连接，移除了所有其他源 (图 2-3, 右)

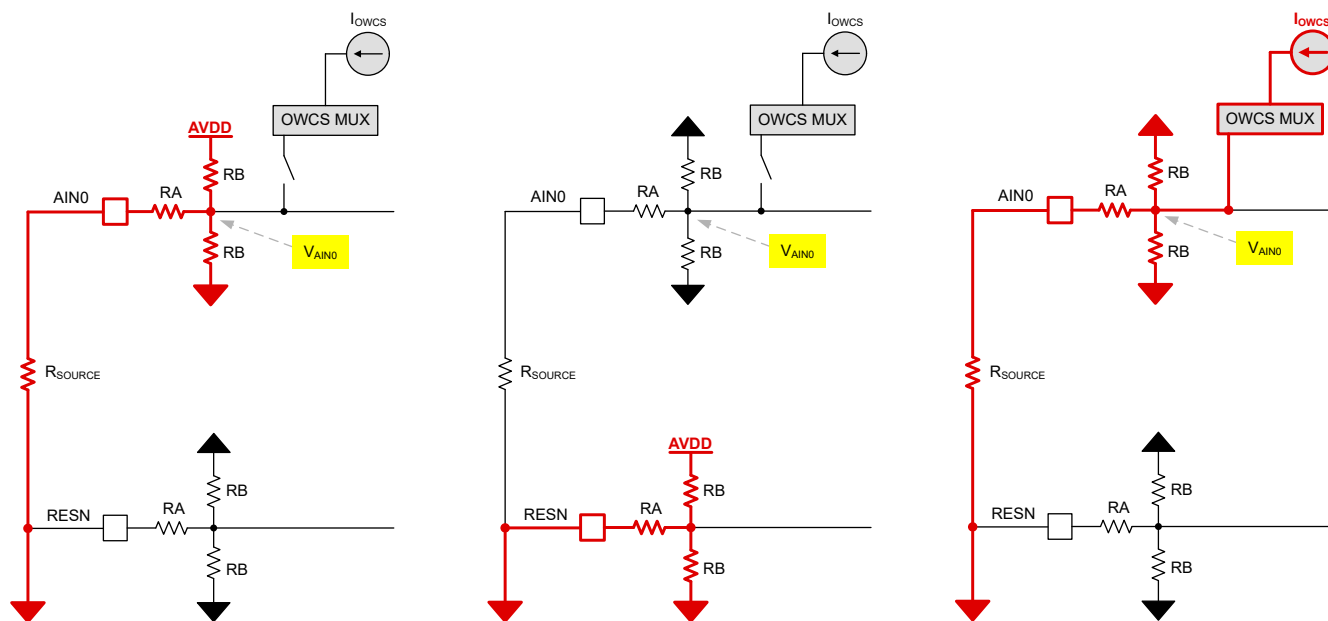


图 2-3. 单端输入的叠加网络示例

表 2-2 描述了将此相同分析应用于方程式 3 中的每个项后的每个节点电压：

表 2-2. 单端输入的节点电压

电压项	节点电压
$V(AIN0)_{OWCS_on}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE} + V(AIN0)_{AIN0_OWCS_SE}$ 其中 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{OWCS_SE} = I_{owcs}$ 已连接，删除了所有其他源
$V(RESN)_{OWCS_on}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_SE} + V(RESN)_{RESN_AVDD_SE} + V(RESN)_{AIN0_OWCS_SE}$ 其中 - $V(RESN)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(RESN)_{OWCS_SE} = I_{owcs}$ 已连接，删除了所有其他源
$V(AIN0)_{OWCS_off}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE}$ 其中 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ 已连接，删除了所有其他源
$V(RESN)_{OWCS_off}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_SE} + V(RESN)_{RESN_AVDD_SE}$ 其中 - $V(RESN)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ 已连接，删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ 已连接，删除了所有其他源

重要的是，表 2-2 揭示了几乎所有的节点电压是相同的，使得方程式 3 可以简化为方程式 4:

$$OWCS_{Delta_SE} = \frac{V(AIN0)_{OWCS_SE} - V(RESN)_{OWCS_SE}}{V_{REF}} \quad (4)$$

图 2-4 显示了方程式 4 中项的叠加配置：

- $V(AIN0)_{OWCS_SE} = I_{owcs}$ 已连接，删除了所有其他源 (图 2-4, 左)

- $V(\text{RESN})_{\text{OWCS_SE}} = I_{\text{OWCS}}$ 已连接，删除了所有其他源 (图 2-4, 右)

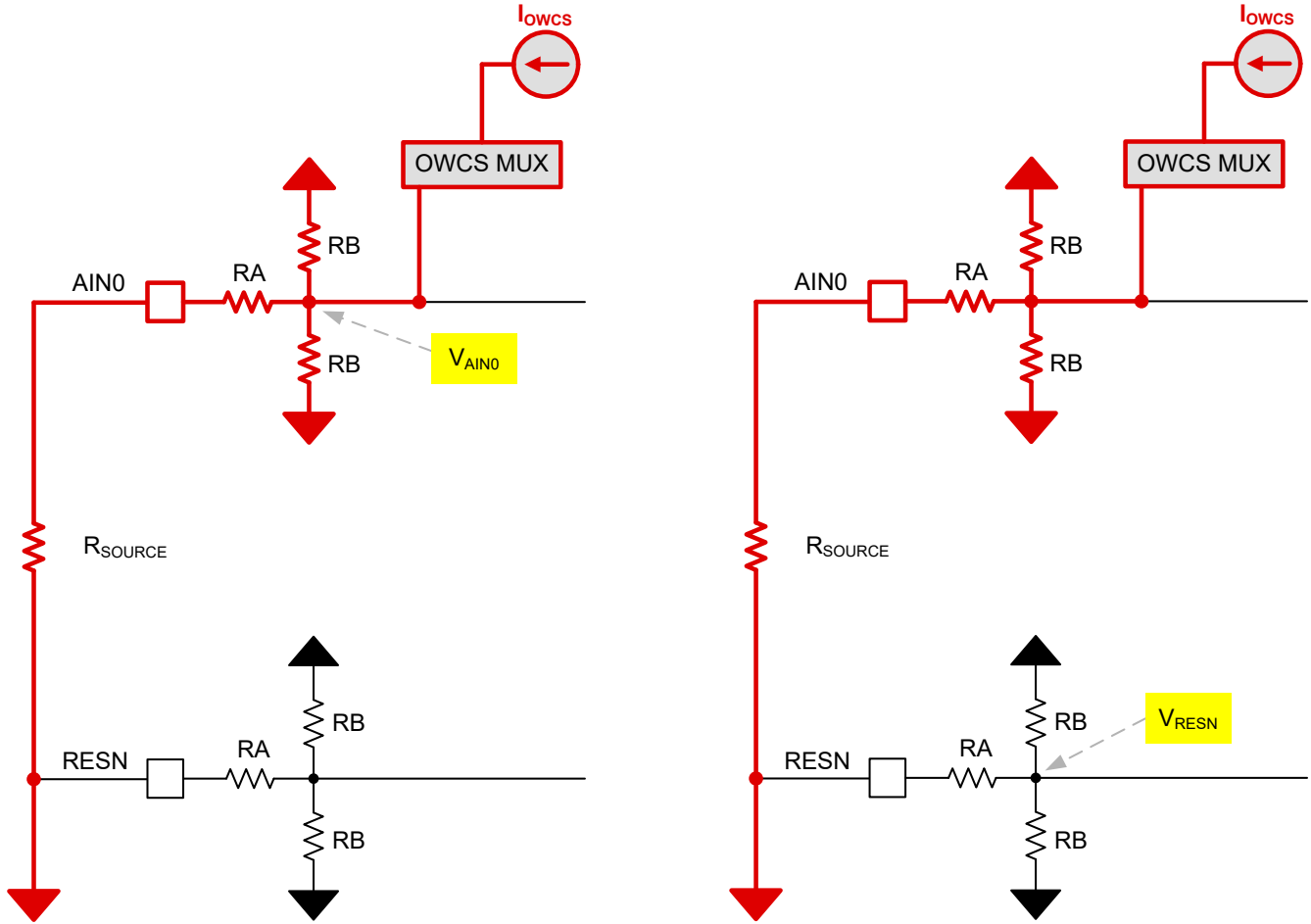


图 2-4. $V(\text{AIN0})_{\text{OWCS_SE}}$ 和 $V(\text{RESN})_{\text{OWCS_SE}}$ 的叠加网络

图 2-4 也表明启用 OWCS 时 RESN 的电压 $V(\text{RESN})_{\text{OWCS_SE}}$ 为 0V，因为 RESN 引脚是接地的。因此，方程式 4 简化为方程式 5、由图 2-4 (左) 表示：

$$\text{OWCS}_{\text{Delta_SE}} = \frac{V(\text{AIN0})_{\text{OWCS_SE}}}{V_{\text{REF}}} \quad (5)$$

根据电阻 R_A 、 R_B 和 R_{SOURCE} 以及电流 I_{OWCS} ，方程式 6 重写图 2-4 (左) 中的 $V(\text{AIN0})_{\text{OWCS_SE}}$ ：

$$V(\text{AIN0})_{\text{OWCS_SE}} = I_{\text{OWCS}} \times (R_B || R_B || [R_A + R_{\text{SOURCE}}]) \quad (6)$$

$$V(\text{AIN0})_{\text{OWCS_SE}} = I_{\text{OWCS}} \times \left(\frac{R_B}{2} || [R_A + R_{\text{SOURCE}}] \right)$$

根据方程式 2，实际 OWCS 电流 I_{OWCS} 与基准电压 V_{REF} 相关。因此，方程式 6 中的 I_{OWCS} 项可以用标称 OWCS 电流 $I_{\text{OWCS_NOM}}$ 重写，并进行简化，如方程式 7 所示：

$$\text{OWCS}_{\text{Delta_SE}} = \frac{(I_{\text{OWCS_NOM}} \times V_{\text{REF}}) \times \left(\frac{R_B}{2} || [R_A + R_{\text{SOURCE}}] \right)}{V_{\text{REF}}} \quad (7)$$

$$\text{OWCS}_{\text{Delta_SE}} = I_{\text{OWCS_NOM}} \times \left(\frac{R_B}{2} || [R_A + R_{\text{SOURCE}}] \right)$$

方程式 7 也可以被重写以根据测得的 $\text{OWCS}_{\text{Delta}}$ 阈值预测单端 $R_{\text{SOURCE_OWCS}}$ 值，如方程式 8 中所示：

$$R_{SOURCE_OWCS_SE} = \frac{OWCS_{Delta_SE} \times (RB + 2 \times RA) - RA \times RB \times I_{OWCS_NOM}}{RB \times I_{OWCS_NOM} - 2 \times OWCS_{Delta_SE}} \quad (8)$$

表 2-1 包括所有 ADS125H18 版本的 RB 和 I_{OWCS_NOM} 值。图 2-5 应用从表 2-1 到方程式 7 中的所有可能参数，并从 1kΩ 至 1GΩ 扫描 R_{SOURCE} ，以生成理想的 $OWCS_{Delta_SE}$ 曲线：

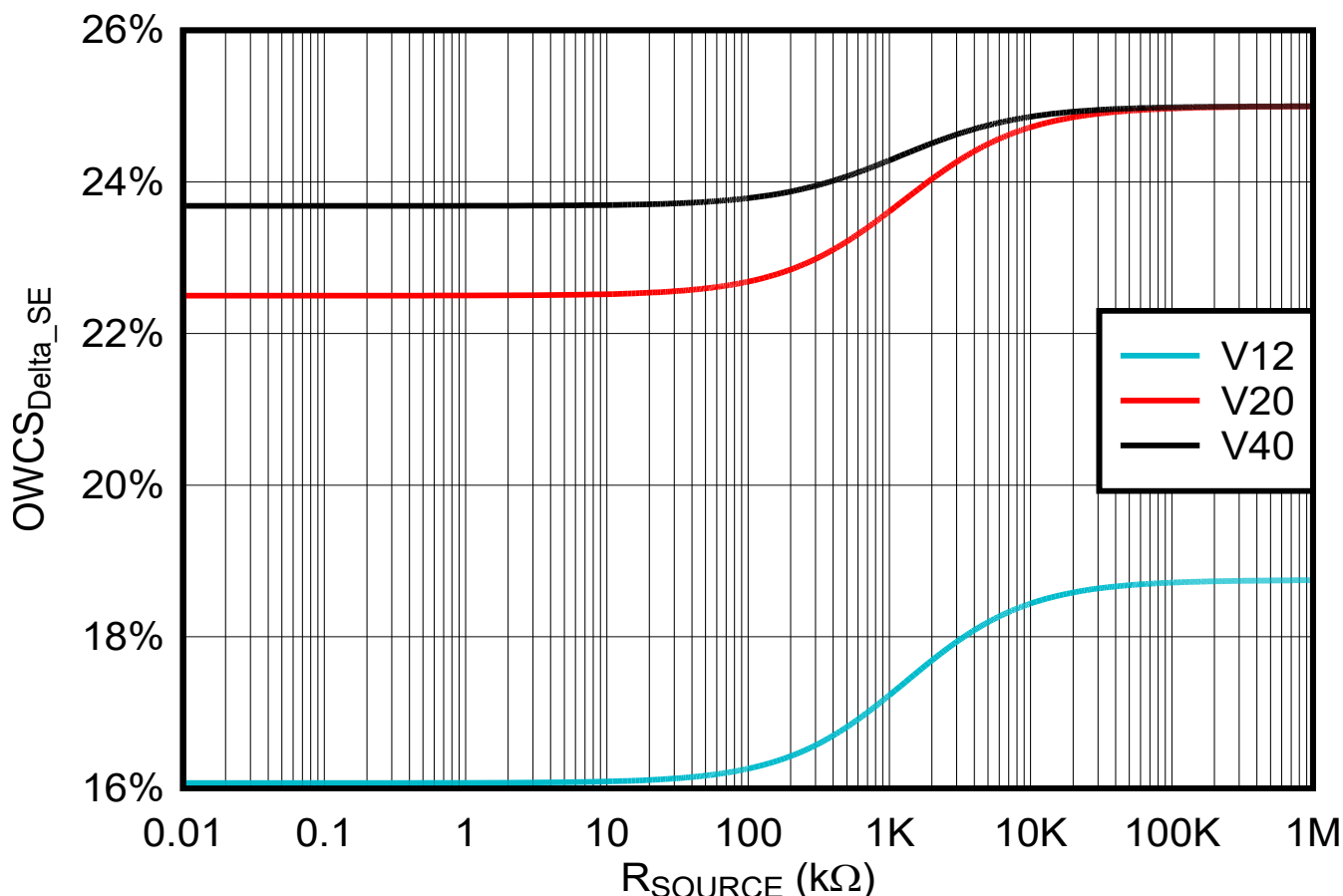


图 2-5. 所有 ADS125H18 型号测量单端输入的 $OWCS_{Delta}$ 行为 ($R_{SOURCE} = 1k\Omega$ 至 $1G\Omega$)

图 2-5 揭示了单端 OWCS 测量的两个重要要点：

1. $OWCS_{Delta_SE}$ 的显著变化发生在 $100k\Omega$ 至 $10M\Omega$ 的范围内。该范围表示最能检测输入阻抗变化的位置
2. 每个 $OWCS_{Delta_SE}$ 曲线在 $R_{SOURCE} = 0\Omega$ 和 $R_{SOURCE} = \infty$ 时均具有理论最小值和最大值。最小值和最大值之间的差值随着衰减因子的增加而减小，从而导致指示 OWCS 故障的裕度更窄。表 2-3 总结了这些结果。

表 2-3. 单端输入的最小和最大 $OWCS_{Delta}$ 值

ADS125H18 版本	衰减系数	$OWCS_{Delta_SE}$ 最小值	$OWCS_{Delta_SE}$ 最大值	差值
V12	7	16.07%	18.75%	2.68%
V20	10	22.50%	25.00%	2.5%
V40	19	23.68%	25.00%	1.32%

2.2.2 使用 ADS125H18EVM 验证具有单端输入的 OWCS 操作

使用 ADS125H18 评估模块 (EVM) 执行测试以验证 OWCS 运行情况。ADS125H18 EVM 是一个易于使用的平台，用于评估 ADS125H18 的主要功能和性能。借助硬件、软件以及通过通用串行总线 (USB) 接口连接计算机，ADS125H18EVM-PDK 可以简化对器件的评估。图 2-6 展示了 ADS125H18 EVM。

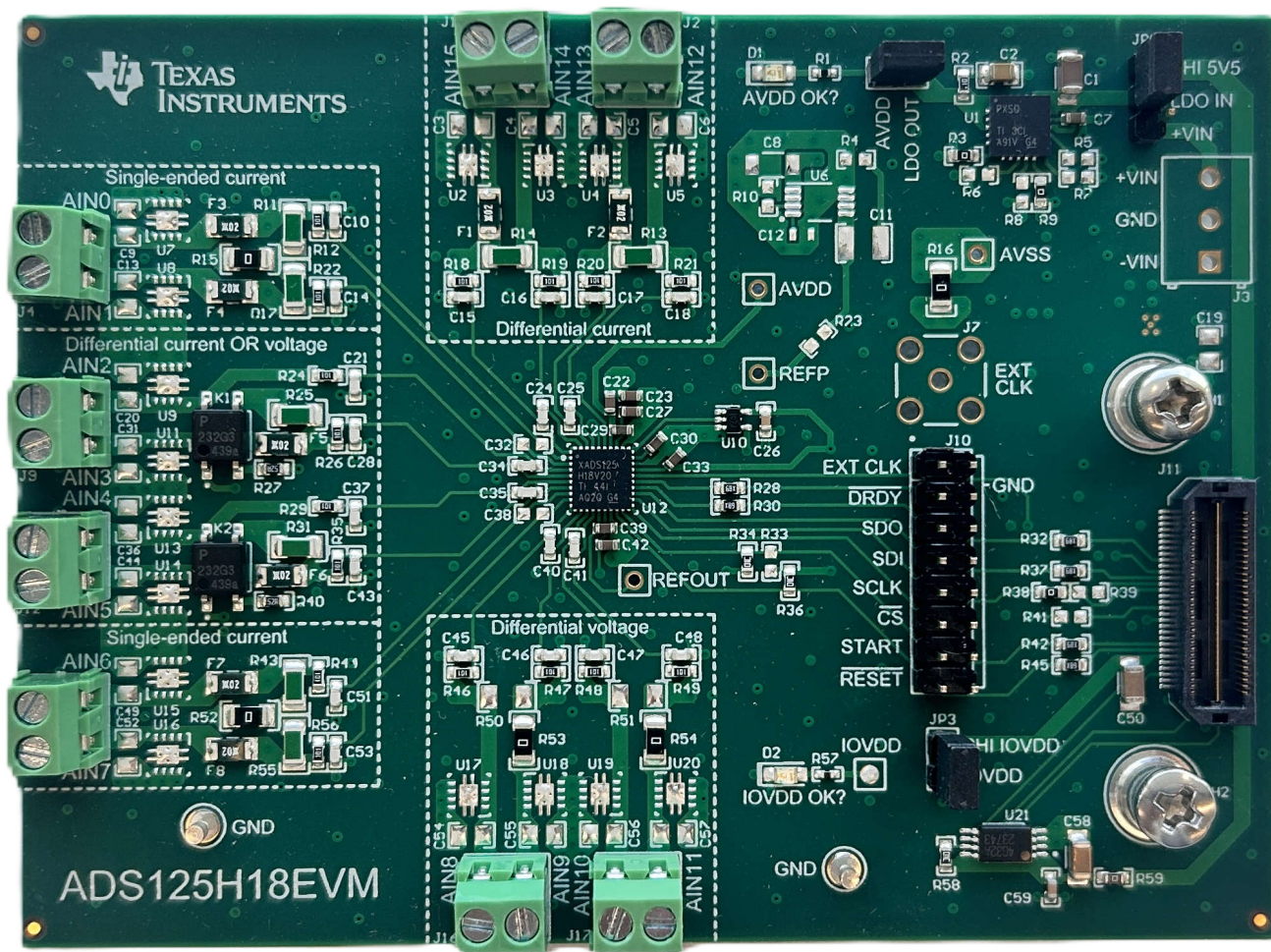


图 2-6. ADS125H18EVM 电路板图像

以下 ADC 和 EVM 条件用来执行 OWCS 验证：

- ADS12H18V20
- 内部 25.6MHz 振荡器
- 速度模式 3 ($f_{MOD} = 12.8\text{MHz}$)
- 内部 2.5V 基准电压
- 单次序列模式
- 两个启用的步骤 (相同的输入通道) :
 - 步骤 1 = OWCS 禁用
 - 步骤 2 = OWCS 启用
- 三种输出数据速率 (ODR) :
 - 1.6kSPS (sinc4+sinc1 滤波器, $OSR = 8000$)
 - 12.5kSPS (sinc4 滤波器, $OSR = 1024$)
 - 50kSPS (sinc4+sinc1 滤波器, $OSR = 256$)
- 每个 OWCS 步骤 512 次转换 (用于捕获可能的稳定行为)
- 无外部无源 (R 或 C) 元件

2.2.2.1 使用单端输入验证 OWCS 运行情况

图 2-7 显示了在 ADS125H18 EVM 上使用单端输入的简单 OWCS 验证设置。在端子块和 ADC 输入引脚之间未安装无源器件。在 EVM 端子块和接地端之间连接了各种 0.1% 的 R_{SOURCE} 电阻器, 以验证在宽输入阻抗范围内的性能。此配置会向 ADC 产生 0V 输入信号, 以简化分析。

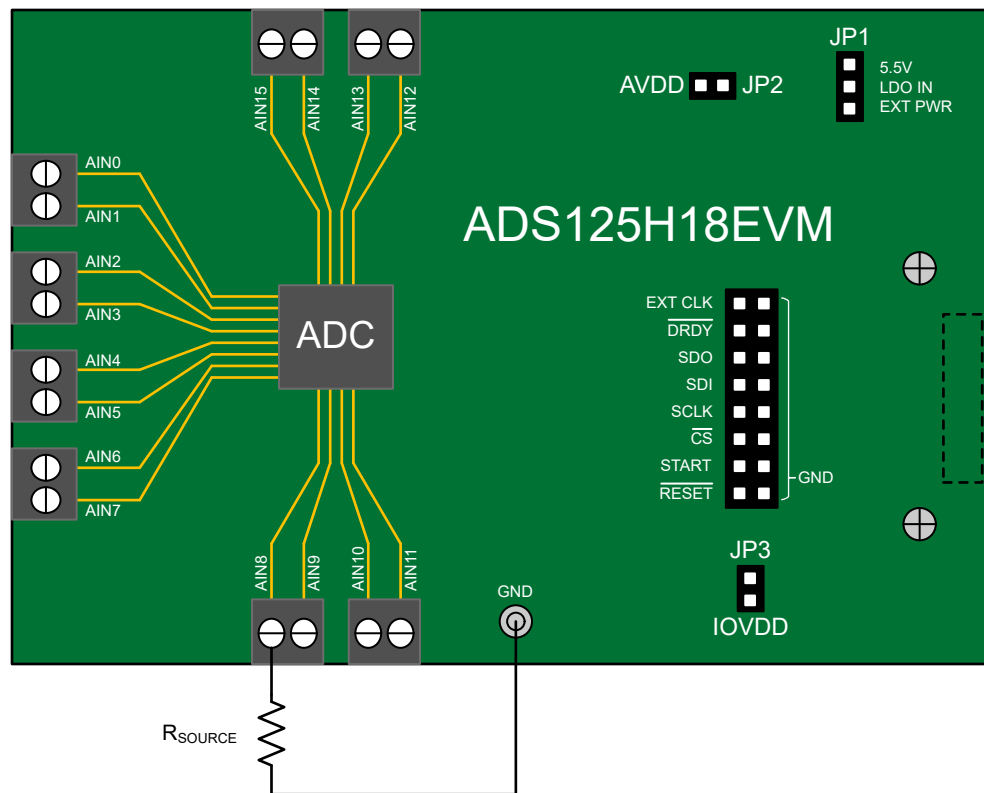


图 2-7. 单端输入的 OWCS 验证设置

测量输入时，在禁用 OWCS 的情况下进行 512 次转换，然后在启用 OWCS 的情况下进行 512 次转换。然后使用方程式 1 计算 $OWCS_{Delta_SE}$ 值，并通过重新排列方程式 7 中的项将其转换为预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值。表 2-4 显示了在 3 个不同 ODR 和 6 个不同 R_{SOURCE} 值下测得的平均结果：

表 2-4. 使用不同 ODR 和 R_{SOURCE} 输入 (单端输入) 测量的 $OWCS_{Delta}$ 值和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值

R_{SOURCE} (k Ω)	ODR = 1.6kSPS		ODR = 12.5kSPS		ODR = 50kSPS	
	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)
25.5	22.57%	35.95	22.57%	35.72	22.57%	35.61
99.9	22.70%	110.23	22.70%	110.29	22.70%	108.94
499.9	23.22%	508.51	23.22%	509.42	23.22%	507.46
1000.0	23.62%	1011.33	23.62%	1014.42	23.62%	1010.50
1999.9	24.04%	2015.60	24.04%	2016.88	24.04%	2013.53
∞ (开路)	25.01%	>1G	25.01%	>1G	25.00%	>1G

表 2-4 表明，对于几乎所有 R_{SOURCE} 值，OWCS 可正确确定在不同 ODR 上施加的单端源阻抗。不过，表 2-4 也显示了预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值和实际 R_{SOURCE} 值之间的近似 10k Ω 偏移。幸运的是，这种看似较大的 k Ω 误差，实际上仅导致平均输入代码变化 0.05%，可归因于 ADS125H18 电阻分压器的匹配性能。最终结果是 OWCS 故障检测按预期运行：此功能可以准确识别开路以及源阻抗的显著变化。

2.2.2.2 使用单端输入对 OWCS 使用较少转换次数

表 2-4 展示了使用 512 个样本 (禁用 OWCS) 和 512 个样本 (启用 OWCS) 计算出的平均 $OWCS_{Delta_SE}$ 值。节 2.2.2.1 指出每个序列步骤使用 512 次转换来捕获任何可能的稳定行为。但是，在许多工业系统中，总共进行 1024 次转换来检测单断线可能需要不切实际的时间量。例如，在 1.6kSPS 下进行 1024 次转换大约需要 640ms。分析采样数据点有助于指明实际需要多少次转换才能实现准确故障检测。

图 2-8 逐点绘制 $OWCS_{Delta_SE}$ 值，而不是按表 2-4 中列出的 512 次转换平均的单个值。图 2-8 使用 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 和 3 个不同的 ODR 值：1.6kSPS、12.5kSPS 和 50kSPS

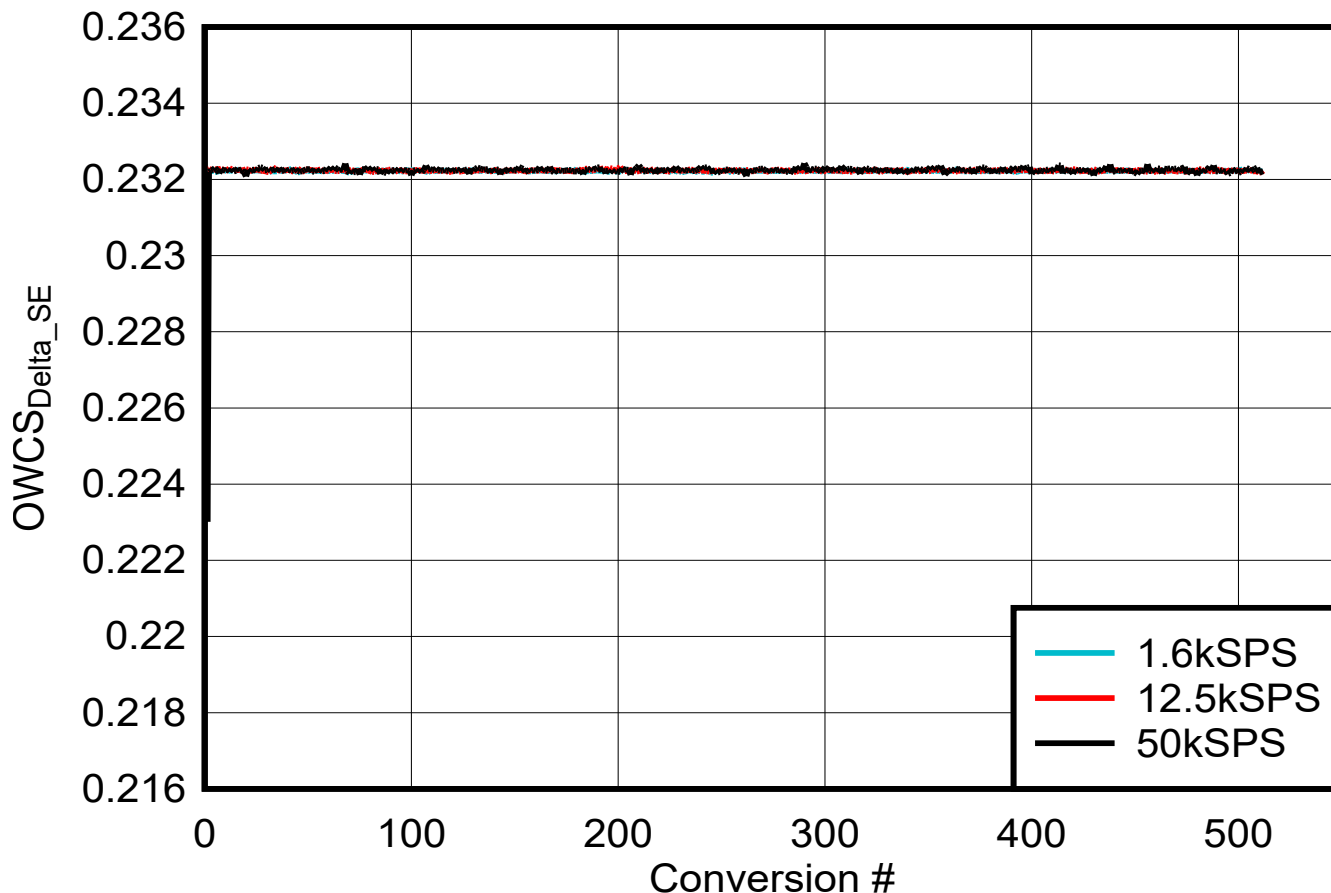


图 2-8. 测得的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值会逐点绘制以显示稳定行为 (单端输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

图 2-8 表明数据中存在一些稳定行为,但由于不稳定的异常值,因此有用信息很少。将此数据分解为不稳定和稳定的元件有助于阐明可能发生故障检测错误的原因。另请注意,此行为显示在 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 时,但存在于 R_{SOURCE} 的所有值中。

2.2.2.2.1 单端输入的不稳定数据

表 2-5 包含测得的 $OWCS_{Delta_SE}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值 (仅根据 3 个不同 ODR 下的第一个转换数据计算得出)。

表 2-5. 仅使用第一次转换数据点测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值 (单端输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

ODR	仅限第一次转换	
	$OWCS_{Delta_SE}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$
1.6kSPS	23.22%	509.01
12.5kSPS	23.23%	513.03
50kSPS	21.73%	0 (短路)

重要的是,表 2-5 显示 $ODR = 50kSPS$ 时不稳定的数据表示短路,而不是 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 。用单个转换结果来确定这些条件下的断线问题可能会给用户带来误报。相比之下,其他两种 ODR 设置可以正确预测 R_{SOURCE} 值。这些组合结果表明,更快的数据速率可能会导致错误的 $OWCS$ 计算。当用户为系统选择 $OWCS$ 数据速率和转换次数时,必须考虑这种可能性。

2.2.2.2.2 单端输入的的稳定数据

图 2-9 显示与图 2-8 相同的数据,但删除了所有 ODR 的第一次转换。换句话说,图 2-9 绘制了多次转换的 2 到 512 个点对点转换,而不是单个平均值。

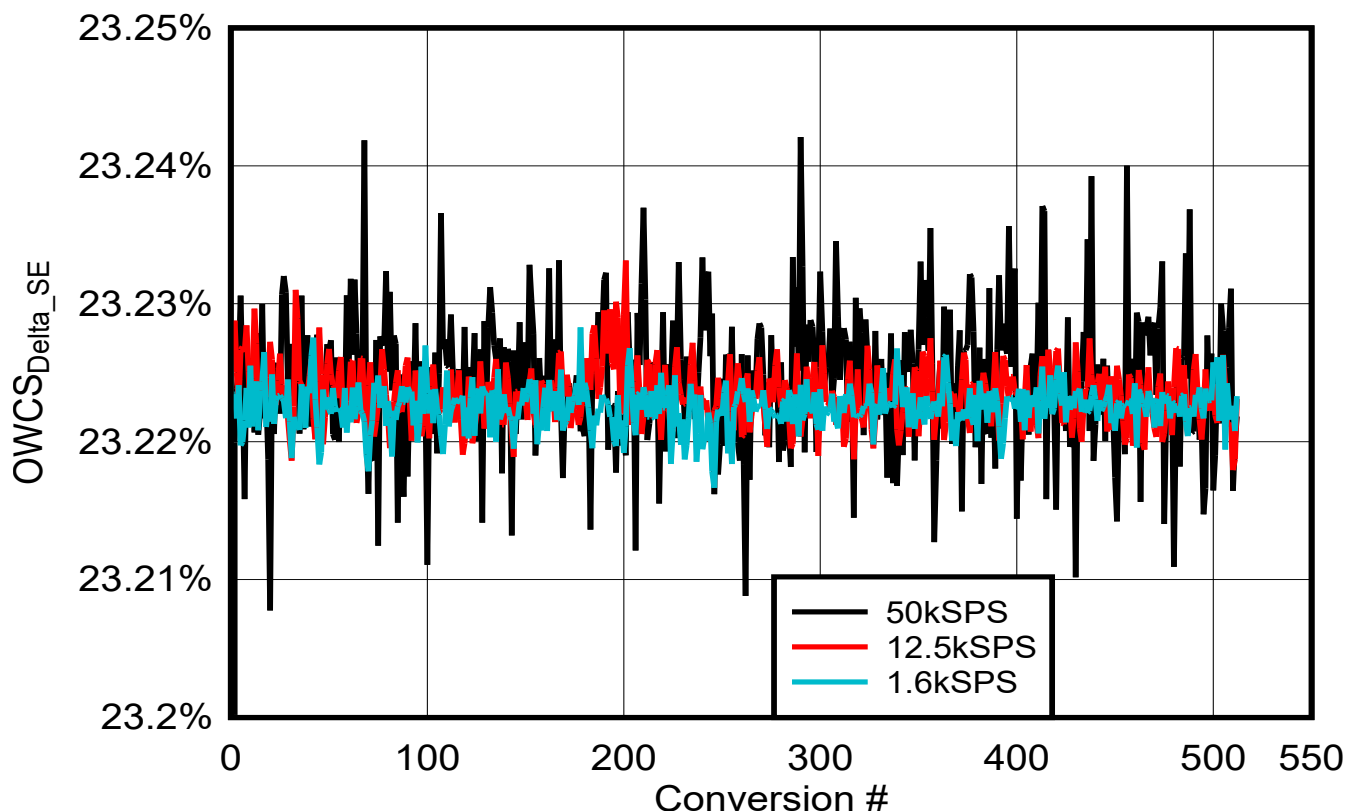


图 2-9. 测得的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值 - 不包括第一次转换 - 在 ODR 范围内逐点绘制 (单端输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

图 2-9 展示了所需的 $OWCS$ 计算行为。 $OWCS_{Delta_SE}$ 值通常具有高斯 (宽带) 噪声分布。此外, 由于 ADC 数字滤波器带宽也会降低, 随着 ODR 降低, 噪声分布会变得更严格。这两个因素都表明了主要受热噪声影响的典型 ADC 数据 (无趋稳效应), 可以正确预测任何转换的 R_{SOURCE_OWCS} 。

表 2-6 分析图 2-9 中 $OWCS_{Delta_SE}$ 值的分布, 以确定预测的 R_{SOURCE_OWCS} 的最小和最大变化。

表 2-6. 测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 方差 (单端输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$) **

ODR	最小值**		最大值**		差值 (最大值 - 最小值) ($k\Omega$)
	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} ($k\Omega$)	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} ($k\Omega$)	
1.6kSPS	23.22%	502.80	23.23%	514.20	11.40
12.5kSPS	23.22%	503.83	23.23%	519.38	15.55
50kSPS	23.21%	494.00	23.24%	528.70	34.70

**不包括第一个样本

表 2-6 显示, 在最低 ODR (1.6kSPS) 下, 最小值和最大值之间的差异较小, 并随着 ODR 的增加而增加。不过, 在所有情况下, 最小值和最大值仍可正确接近 $500k\Omega$ R_{SOURCE} 阻抗。因此, 可以得出结论: 在这些条件下使用明显更少的转换 ($<<512$) 可以在不影响可靠性的情况下实现更快的断线检测。

2.2.2.3 输入电容如何影响单端输入的 $OWCS$ 性能

节 2.2.2 描述了在端子块和 ADC 输入引脚之间未安装无源器件的情况下使用标准 ADS125H18 EVM 时的 $OWCS$ 性能。不过, 许多工业系统的输入端包含用于噪声抑制或其他目的的电容器。图 2-10 展示了一个系统示例, 其中在 AIN8 和 AIN9 模拟输入之间安装了一个红色差分电容器, 在每个输入和接地之间安装了蓝色共模 (单端) 电容器。ADS125H18 EVM 为这些元件提供默认未组装的空间。

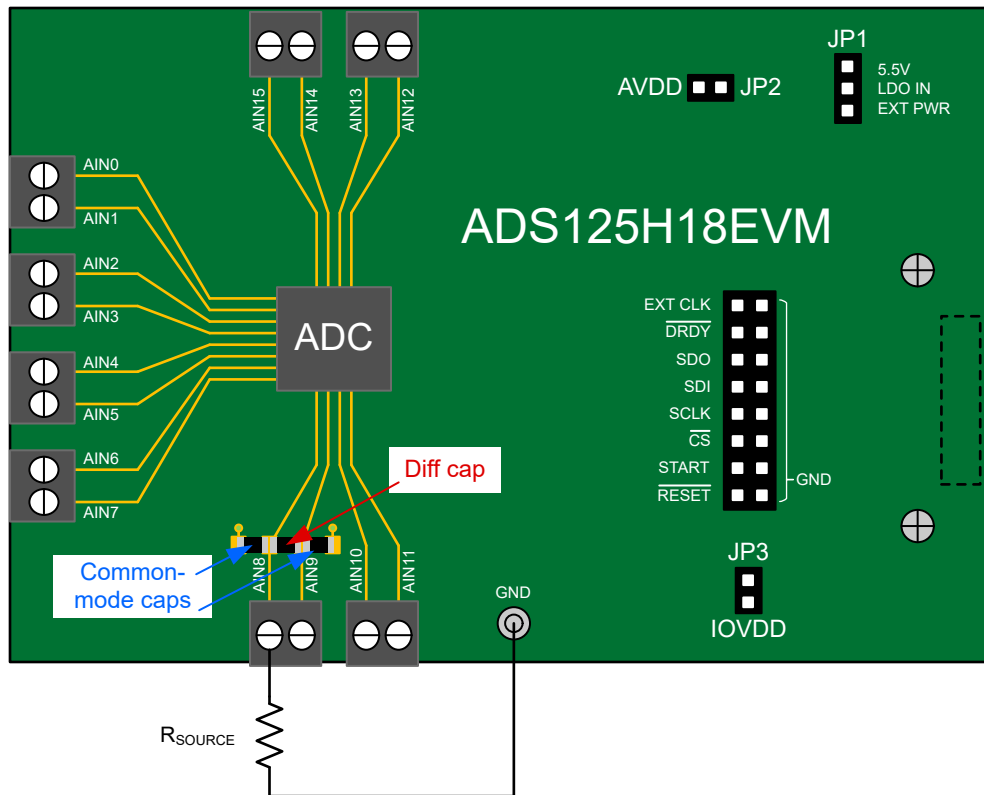


图 2-10. 使用输入电容测量 ADS125H18EVM 上的单端输入

在模拟输入端添加电容有助于降低噪声，但代价是电容器充电会增加建立时间。当电流源 (OWCS) 接通时，这种行为会影响测量，因为电容器无法瞬间充电至所需的电压。当 OWCS 关断时，也可以测量这种影响，因为电容器不能瞬时放电。

ADS125H18 EVM 上安装了多个电容器，用于测量输入电容对 OWCS 检测行为的影响。否则，使用的设置与节 2.2.2 开头列出的设置相同。测量输入时，在禁用 OWCS 的情况下进行 512 次转换，然后在启用 OWCS 的情况下进行 512 次转换。接下来，使用方程式 1 计算 $OWCS_{Delta_SE}$ 值，并通过重新排列方程式 7 中的项转换为预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值。表 2-7 显示了当 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 时，在 3 个不同的 ODR 和 4 个不同输入电容值上测得的平均结果：

表 2-7. 不同 ODR 和输入电容下测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} (单端输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$)

输入电容 (nF)	ODR = 1.6kSPS		ODR = 12.5kSPS		ODR = 50kSPS	
	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)
1	23.46%	781.15	23.45%	769.40	23.41%	716.45
10	23.42%	731.64	23.33%	616.85	23.19%	480.98
100	23.32%	614.03	23.11%	406.91	22.84%	196.04
1000	23.06%	359.71	22.65%	80.54	22.53%	13.18

表 2-7 表明 $OWCS_{Delta_SE}$ 值随数据速率和输入电容的变化而有很大差异。例如，当 ODR = 1.6kSPS 且输入电容 = 1nF 时，预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值为 781.15k Ω 。此结果约等于理想的 800k Ω R_{SOURCE} 值。但是，当 ODR = 50kSPS 且输入电容 = 1000nF 时，预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值仅为 13.18k Ω ！逐点查看数据有助于阐明不同参数之间存在如此大差异的原因。

图 2-11 逐点绘制了 4 个不同输入电容值在 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 和 ODR = 12.5kSPS 时的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值：1nF、10nF、100nF 和 1000nF。

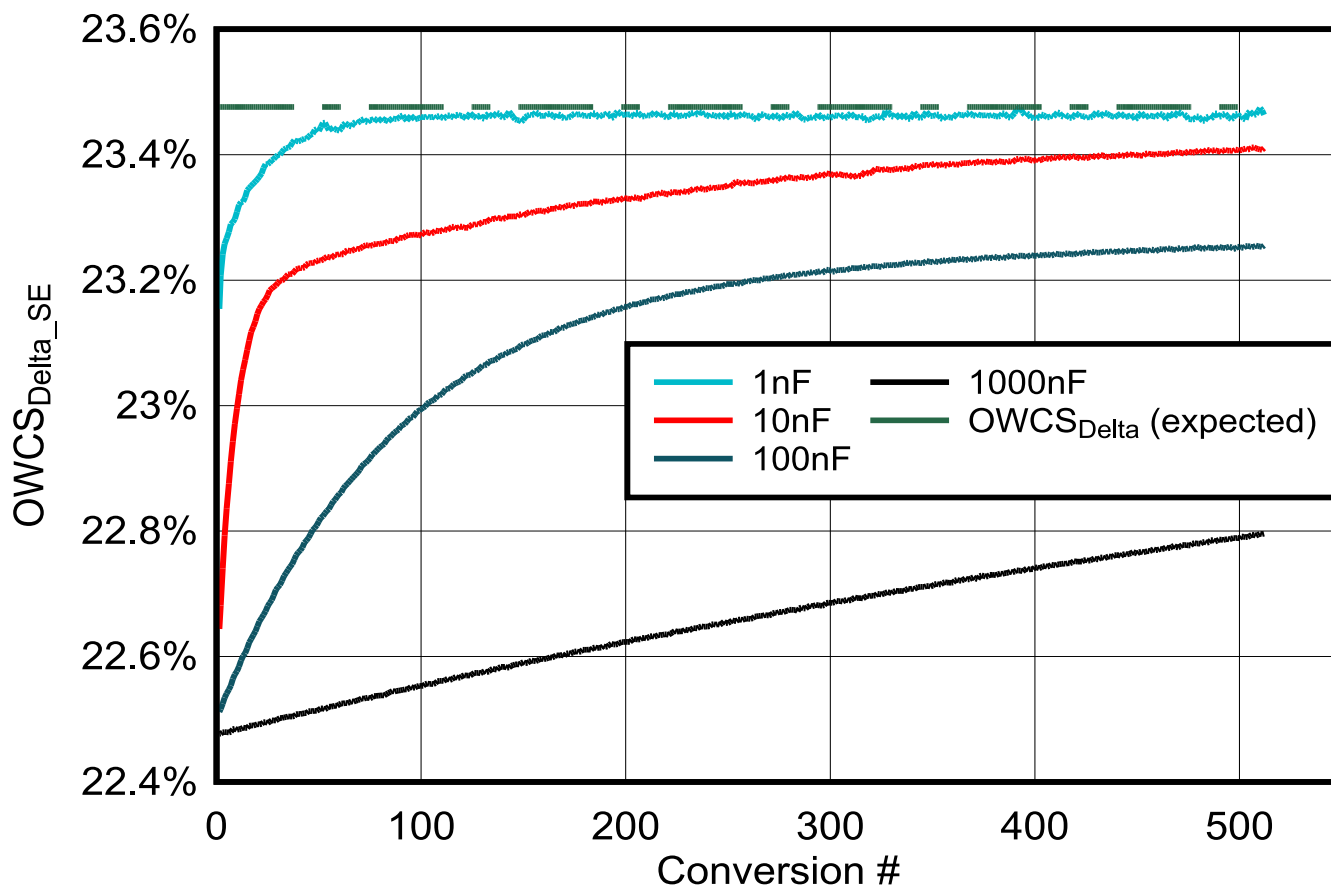


图 2-11. 不同输入电容值下的 $OWCS_{Delta_SE}$ 行为 (单端输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$)

图 2-11 显示了输入电容对 $OWCS$ 行为的显著影响, 以及表 2-7 中列出的结果存在如此极端变化的原因:

- 1nF 图在大约 75 次转换后达到预期的 23.48% $OWCS_{Delta_SE}$ 值
- 其他三 (3) 个图永远不会达到预期的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值
- 其他三 (3) 个图即使在 512 次转换后也无法达到稳定状态

这些结论是合理的, 因为电容器时间常数会随着输入电容的增加而增加, 从而导致稳定时间延长。

如前所述, 在安装输入电容器的情况下更改 ODR 也会影响 $OWCS$ 性能。图 2-12 绘制了 3 个不同 ODR 的 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 和输入电容 = 10nF 时的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值: 1.6kSPS、12.5kSPS 和 50kSPS。曲线图 x 轴以毫秒为单位, 可清楚地指示 ADC 捕获的充电行为。此外, 所有图表都从同一点开始并相互叠加。

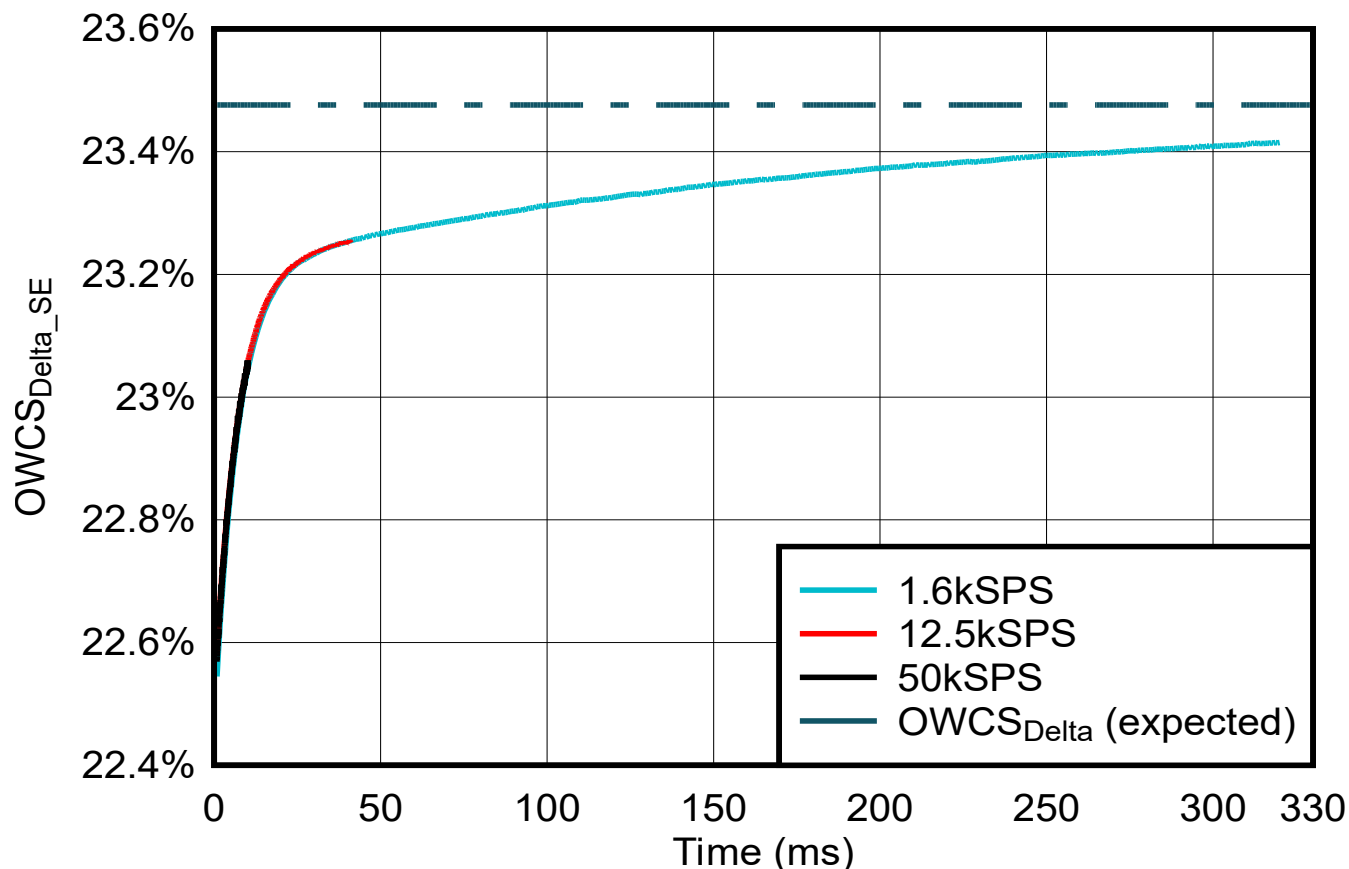


图 2-12. 不同 ODR 值下的 $OWCS_{Delta}$ 行为 (单端输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, 输入电容 = 10nF)

图 2-12 中的结果是合理的, 因为即使电容器时间常数保持不变, ADC 采样时间也会随着 ODR 的增加而减少。因此, 随着数据速率的增加, ADC 捕获的电容器充电行为更多、稳态行为更少, 从而导致测量不太稳定。

如前所述, 输入电容确实有助于降低噪声。图 2-13 绘制了在 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 且 $ODR = 12.5kSPS$ 下禁用 OWCS 且具有 4 个不同输入电容值时测得的 ADC 代码点曲线: 1nF、10nF、100nF 和 1000nF。

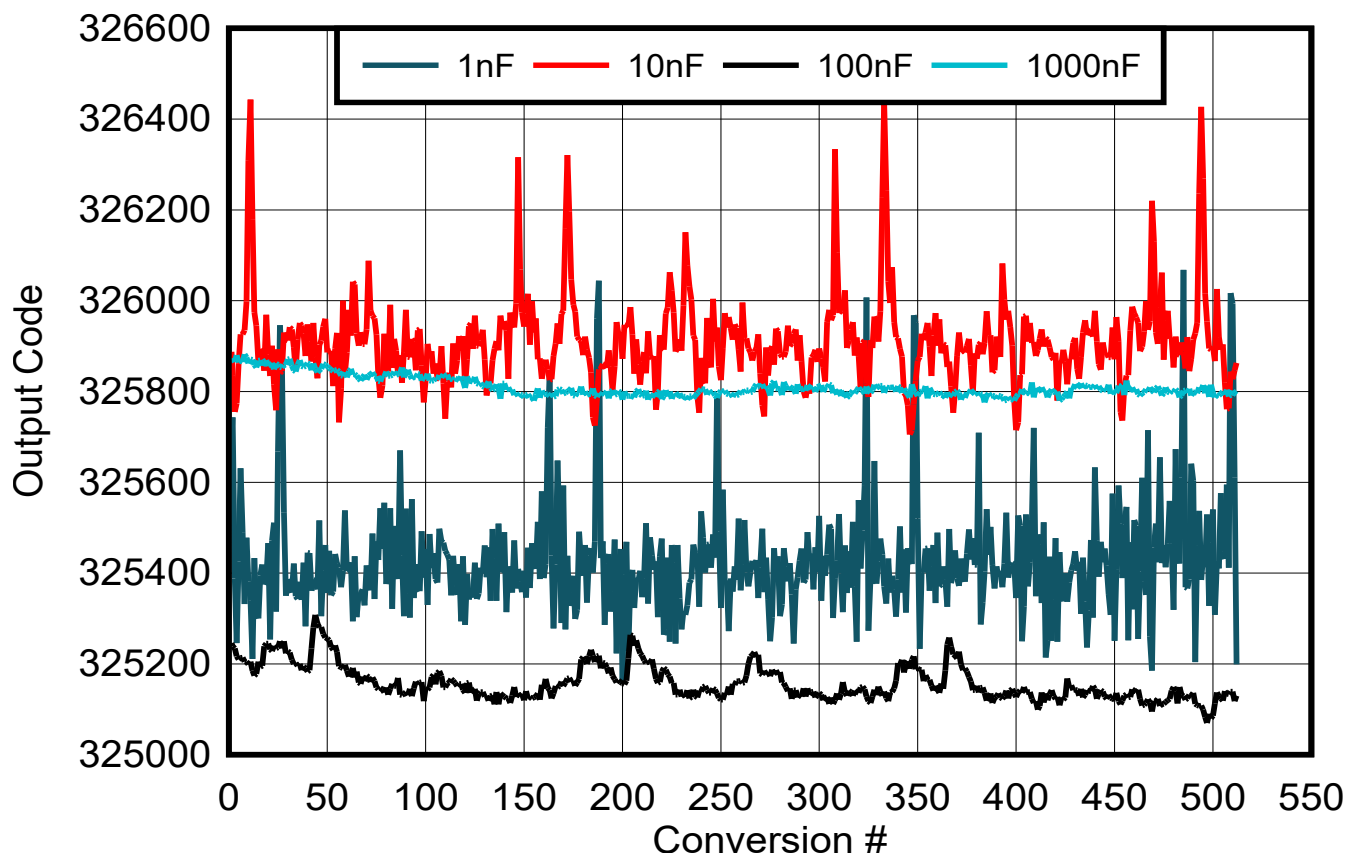


图 2-13. 不同输入电容值下的 ADC 代码行为 (单端输入, 禁用 OWCS, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$)

图 2-13 定性地表明, 噪声扩散会随着输入电容的增加而降低。具体而言, 当输入电容 = 1nF 时的 RMS 噪声为 160.38 个代码, 而当输入电容 = 1000nF 时的 RMS 噪声仅为 14.09 个代码。设计人员必须注意在输入电容器的降噪优势与电容器稳定带来的挑战之间取得平衡。

2.2.2.4 使用 ADS125H18 可编程延迟来减轻单端输入的稳定影响

ADS125H18 集成了可编程延迟功能, 可用于在 ADC 开始转换之前等待任何外部稳定行为达到稳定。这种延迟发生在转换 START 后的第一次转换之前, 以及 ADC 定序器处于活动状态时的每个新序列步骤开始时。延迟值范围为 0 到 65535 个调制器周期 t_{MOD} , 并且每个步骤均可独立编程。

例如, 当 $f_{MOD} = 12.8MHz$ 时, 方程式 9 和方程式 10 分别计算一个 t_{MOD} (以微秒为单位) 和 1ms 延迟所需的 t_{MOD} 周期数:

$$t_{MOD} (\mu s) = \frac{1}{f_{MOD}} = \frac{1}{12.8MHz} = 0.078125 \mu s \quad (9)$$

$$t_{MOD} (\text{periods}) = \frac{\text{Delay} (\mu s)}{t_{MOD} (\mu s)} = \frac{1000 \mu s}{0.078125 \mu s} = 12800 \quad (10)$$

图 2-14 以黄色显示了 ADS125H18 数据就绪 (DRDY) 信号的逻辑分析仪捕获结果。DRDY 表示新数据已准备好从 ADC 输出。DRDY 脉冲之间的时间用于测量采样到采样的转换延迟。绿色框指示 ADS125H18 序列发生器何时自动从第 1 步转换 (OWCS 禁用) 并且在第 2 步 (OWCS 启用) 开始转换。ADC 使用 sinc4 滤波器, 工作频率为 $ODR = 12.5kSPS$, $DELAY = 0$, 使得第一次转换延迟约为以红色突出显示的 $320\mu s$ 。蓝色框表示所有后续转换均可在 $1 / ODR$ 条件下使用。

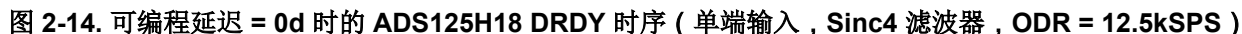


图 2-15. 可编程延迟 = 12800d 时的 ADS125H18 DRDY 时序 (单端输入, Sinc4 滤波器, ODR = 12.5kSPS)

表 2-8 显示了可编程延迟有助于将实际和预测的 R_{SOURCE} 值之间的误差降低约 20%。通过使 ADC 捕获更少的电容器充电行为和更多的稳态行为，该延迟可提供更稳定的测量结果。图 2-16 通过逐点绘制 $OWCS_{Delta_SE}$ 值，而不是表 2-8 中显示的 512 次转换的平均值，示出了这种行为。图 2-16 使用 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、输入电容 = $10nF$ 和两个不同的 $DELAY$ 值：0ms 和 1ms

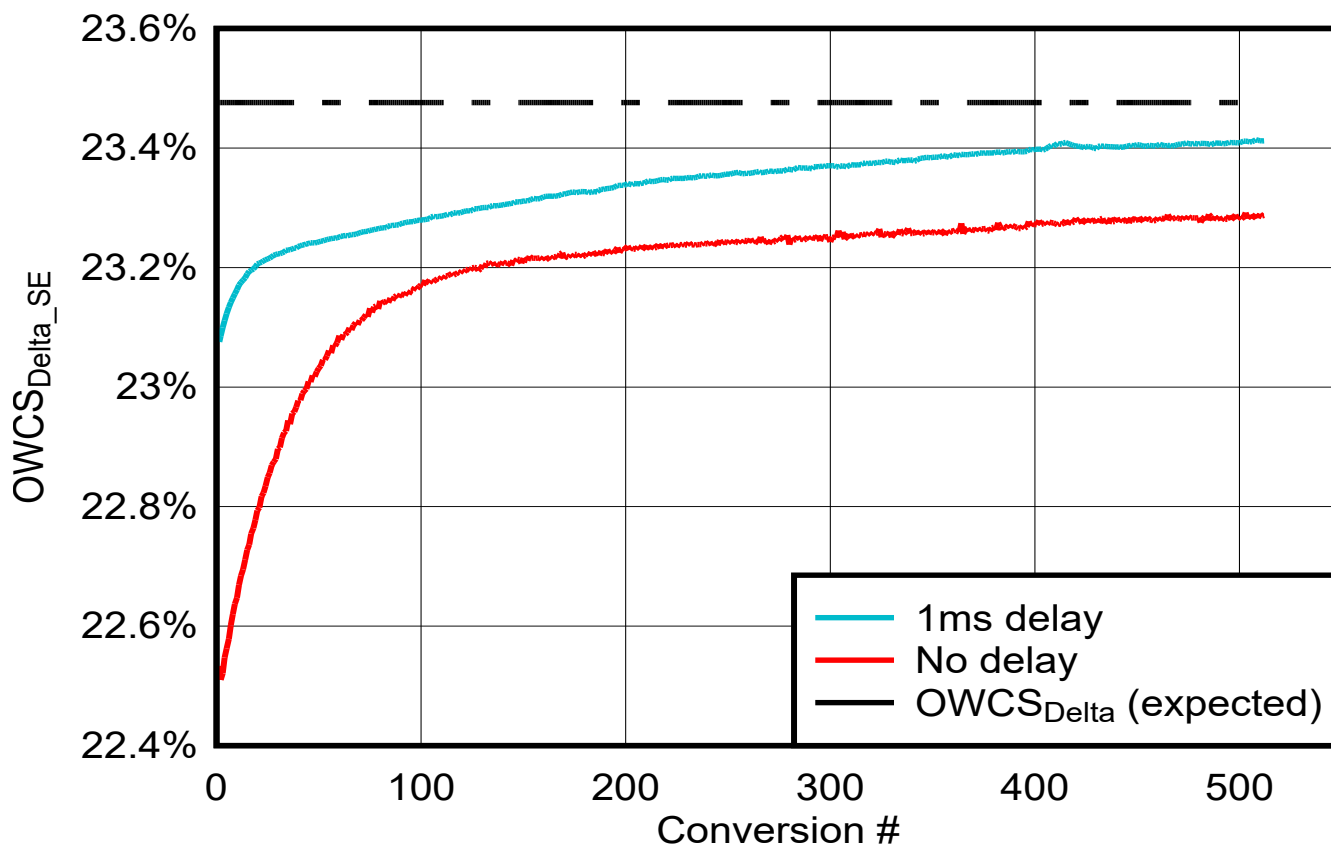


图 2-16. 可编程延迟 = 0ms 和 1ms (单端输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, 输入电容 = 10nF, ODR = 12.5kSPS) 时的 $OWCS_{Delta}$ 行为

图 2-16 显示了可编程延迟如何避免大多数初始电容器充电行为, 从而使平均值更接近预期值。额外的延迟可进一步改善这种行为。最后, 图 2-16 显示了一组特定的 ODR 和输入电容参数下, 特定延迟时间如何影响 OWCS 性能。如果用户更改任何这些系统参数, 可能需要不同的延迟值。

2.3 对差分输入信号使用 OWCS

以下各部分介绍了用户将差分输入应用于 ADS125H18 时的 OWCS 行为：

- 分析差分信号的 OWCS 行为
- 使用 ADS125H18EVM 验证具有差分输入的 OWCS 操作

2.3.1 分析差分输入信号的 OWCS 行为

本节分析了在 ADS125H18 上施加具有源阻抗 R_{SOURCE} 的差分输入时 OWCS 的行为。图 2-17 展示了用于分析差分输入的电路（禁用 OWCS、具有差分 R_{SOURCE} 阻抗）：

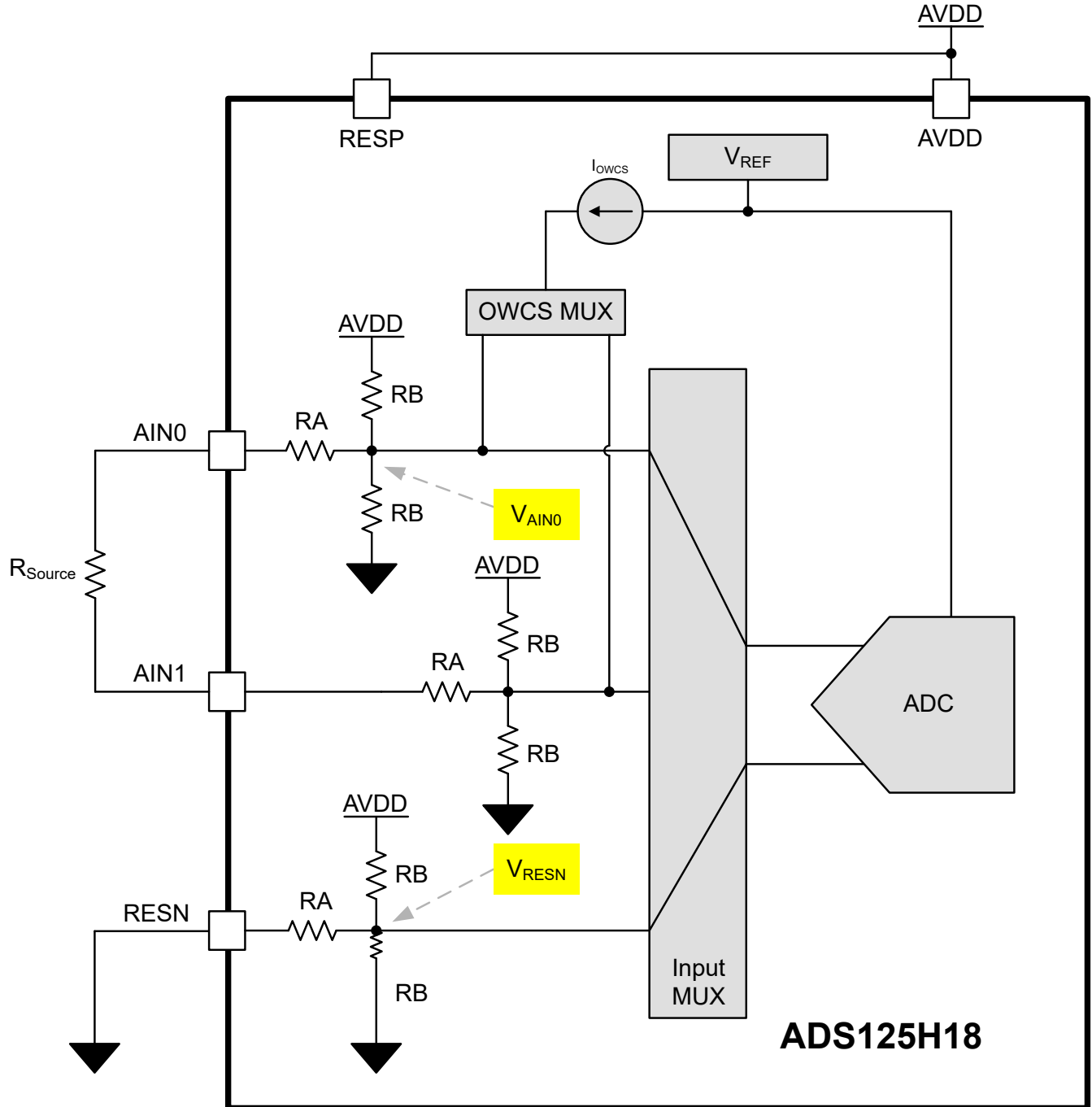


图 2-17. 分析差分输入信号的 OWCS 行为

根据节 2.1，即使对于差分输入信号，OWCS 测量也始终是相对于 RESN 的单端测量。因此，检测 AIN0 或 AIN1 处的任一导线是否开路需要进行四次测量：每个引脚进行一次基线测量和一次 OWCS 测量。不过，本文档仅分析 AIN0 处的电压，因为相同的方法适用于 AIN1，并且在理想情况下在任一情况下都应提供相同的阈值结果。因此，请使用节 2.2.1 中所述的相同分析技术。方程式 11 计算图 2-17 中节点 V_{AIN0} 和 V_{RESN} 之间差分输入的 OWCS delta：

$$OWCS_{Delta_Diff} = \frac{([V(AIN0)_{OWCS_on} - V(RESN)_{OWCS_on}] - [V(AIN0)_{OWCS_off} - V(RESN)_{OWCS_off}])}{V_{REF}} \quad (11)$$

对于差分测量，方程式 11 几乎与单端测量的方程式 3 相同；但是，AIN1 处的额外 AVDD 电压会添加另一个要包含在分析中的源。和节 2.2.1 中一样，使用叠加以通过短路电压源或打开电流源来分析电路中每个源的电压贡献。例如，图 2-18 显示在启用 OWCS 的情况下计算 AIN0 处的总电压 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$ 需要四种不同的叠加配置：

- $V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} = AVDD(AIN0)$ 已连接，删除了所有其他源 (图 2-18，左上)
- $V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} = AVDD(AIN1)$ 已连接，删除了所有其他源 (图 2-18，右上)
- $V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff} = AVDD(RESN)$ 已连接，删除了所有其他源 (图 2-18，左下)
- $V(AIN0)_{AIN0_OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ 已连接，移除了所有其他源 (图 2-18，右下)

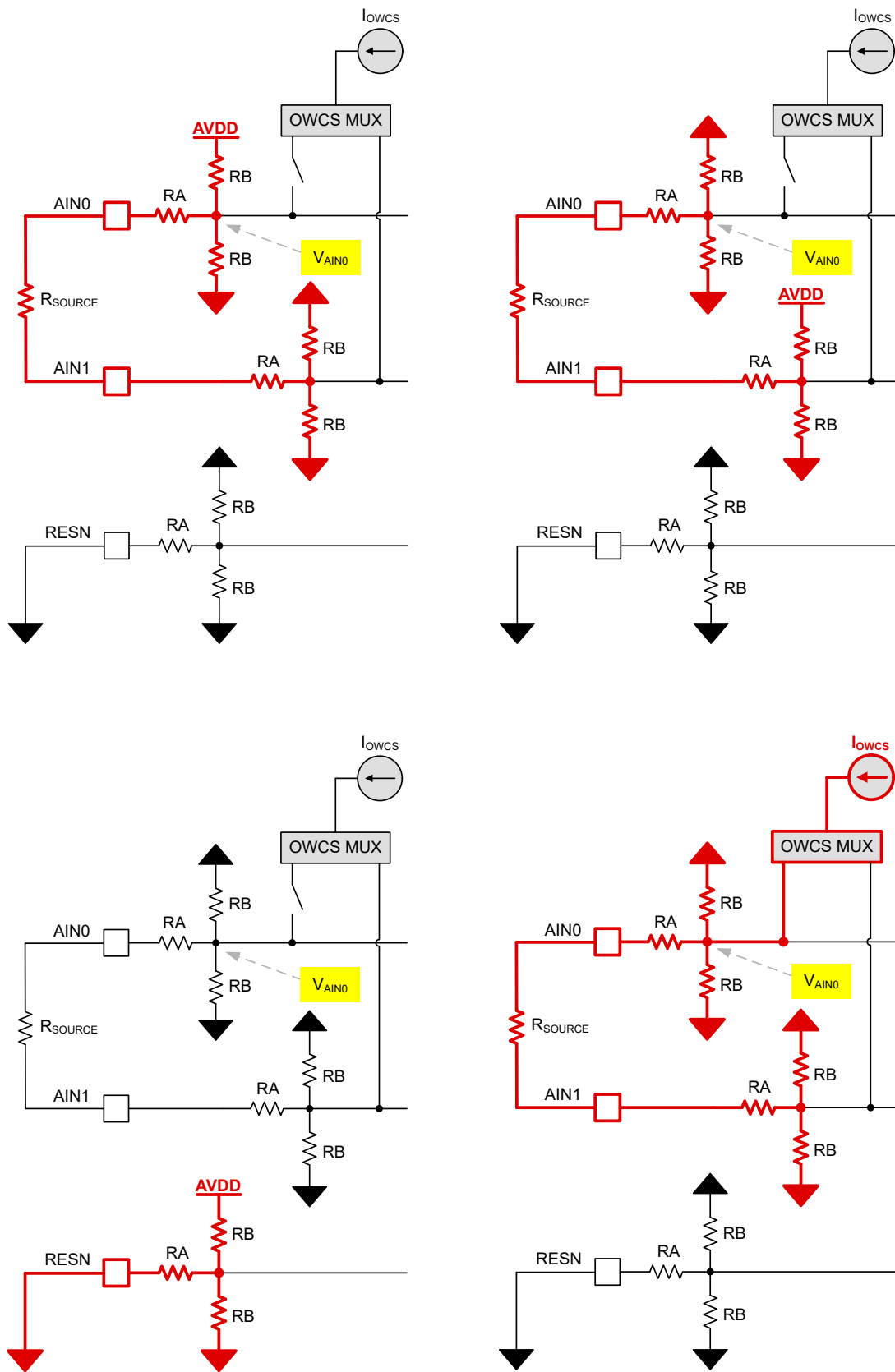


图 2-18. 差分输入的叠加网络示例

表 2-9 描述了将此相同分析应用于方程式 11 中的每个项后的每个节点电压：

表 2-9. 差分输入的节点电压

电压项	节点电压
$V(AIN0)_{OWCS_on}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN0_OWCS_Diff}$ 其中 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ 已连接, 删除了所有其他源
$V(RESN)_{OWCS_on}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(RESN)_{RESN_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN0_OWCS_Diff}$ 其中 - $V(RESN)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(RESN)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ 已连接, 删除了所有其他源
$V(AIN0)_{OWCS_off}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff}$ 其中 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(AIN0)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ 已连接, 删除了所有其他源
$V(RESN)_{OWCS_off}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(RESN)_{RESN_AVDD_Diff}$ 其中 - $V(RESN)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ 已连接, 删除了所有其他源 - $V(RESN)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ 已连接, 删除了所有其他源

幸运的是, 类似节 2.2.1, 几乎表 2-9 所有的项都抵消, 这样最终的公式是在 $AIN0$ 处的电压 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$ 下, 并启用了 $OWCS$ 。方程式 12 根据电阻 RA 、 RB 和 R_{SOURCE} 以及电流 I_{OWCS} 重写 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$:

$$V(AIN0)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS} \times (RB || RB || [2 \times RA + R_{SOURCE} + (RB || RB)]) \quad (12)$$

$$V(AIN0)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS} \times \left(\frac{RB}{2} || [2 \times RA + R_{SOURCE} + \frac{RB}{2}] \right)$$

最后, 根据方程式 2, 实际 $OWCS$ 电流 I_{OWCS} 与基准电压 V_{REF} 相关。因此, 方程式 12 中的 I_{OWCS} 项可以用标称 $OWCS$ 电流 I_{OWCS_NOM} 重写, 并进行简化, 如方程式 13 所示:

$$OWCS_{Delta_Diff} = \frac{(I_{OWCS_NOM} \times V_{REF}) \times \left(\frac{RB}{2} || [2 \times RA + R_{SOURCE} + \frac{RB}{2}] \right)}{V_{REF}} \quad (13)$$

$$OWCS_{Delta_Diff} = I_{OWCS_NOM} \times \left(\frac{RB}{2} || [2 \times RA + R_{SOURCE} + \frac{RB}{2}] \right)$$

方程式 13 也可以被重写以根据测得的 $OWCS_{Delta}$ 阈值预测差分 R_{SOURCE_OWCS} 值, 如方程式 14 中所示:

$$R_{SOURCE_OWCS_Diff} = \frac{OWCS_{Delta_Diff} \times 4 \times (RB + 2 \times RA) - 4 \times RA \times RB \times I_{OWCS_NOM} - RB^2 \times I_{OWCS_NOM}}{2 \times RB \times I_{OWCS_NOM} - 4 \times OWCS_{Delta_Diff}} \quad (14)$$

表 2-1 包括所有 ADS125H18 版本的 RB 和 I_{OWCS_NOM} 值。图 2-19 应用从表 2-1 到方程式 13 中的所有可能参数, 并从 $1k\Omega$ 至 $1G\Omega$ 扫描 R_{SOURCE} , 以生成理想的 $OWCS_{Delta_Diff}$ 曲线:

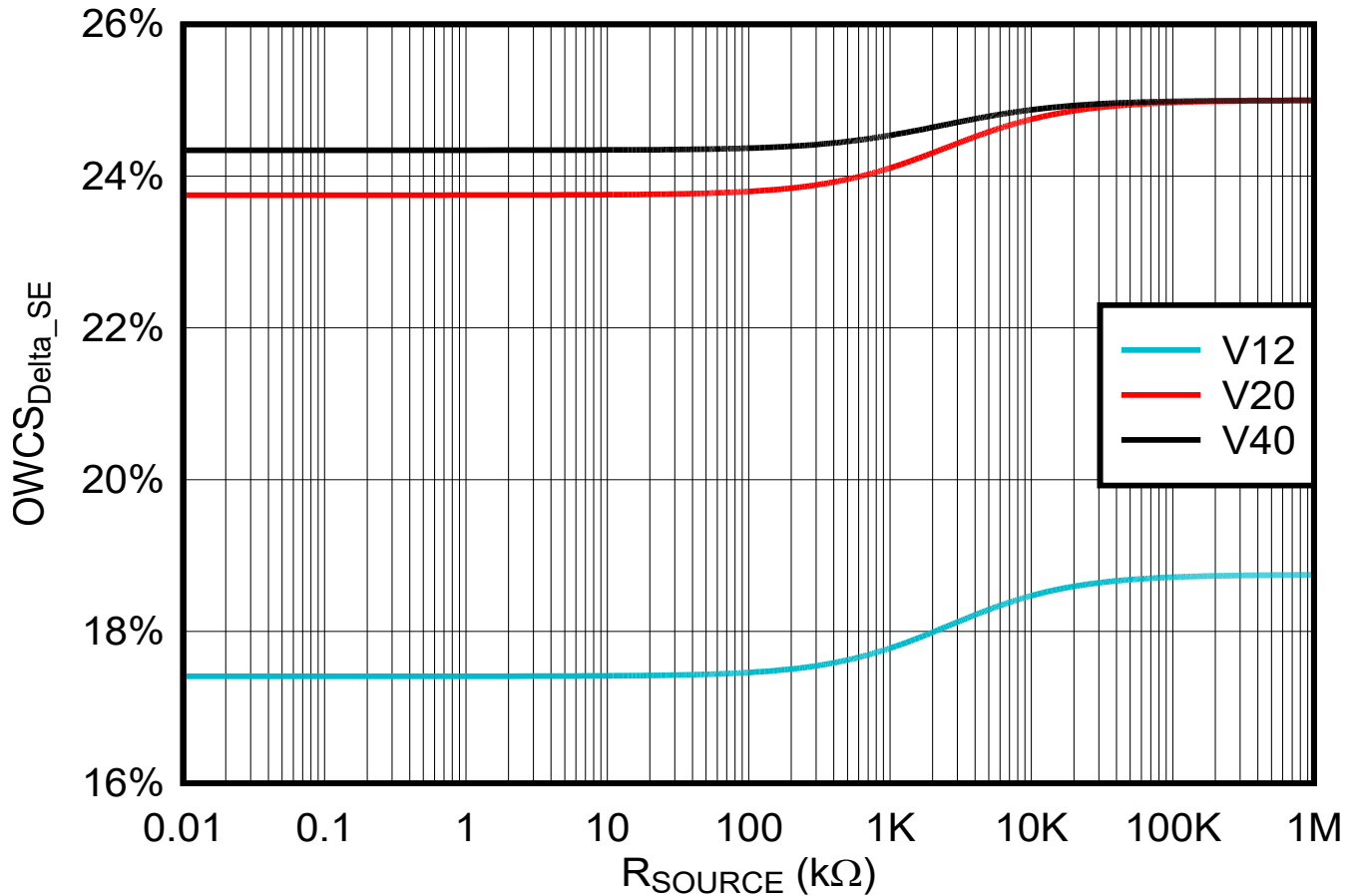


图 2-19. 所有 ADS125H18 型号测量差分输入的 $OWCS_{Delta}$ 行为 ($R_{SOURCE} = 1k\Omega$ 至 $1G\Omega$)

图 2-19 揭示了差分 OWCS 测量的两个重要要点：

1. $OWCS_{Delta_Diff}$ 的显著变化发生在从 $100k\Omega$ 到 $10M\Omega$ 的范围内。该范围表示最能检测输入阻抗变化的位置。
2. 每个 $OWCS_{Delta_Diff}$ 曲线在 $R_{SOURCE} = 0\Omega$ 和 $R_{SOURCE} = \infty$ 时都有理论最小值和最大值。最小值和最大值之间的差值随着衰减因子的增加而减小，从而导致指示 OWCS 故障的裕度更窄。表 2-10 总结了这些结果。

表 2-10. 差分输入的最小和最大 $OWCS_{Delta}$ 值

ADS125H18 版本	衰减系数	$OWCS_{Delta_Diff}$ 最小值	$OWCS_{Delta_Diff}$ 最大值	差值
V12	7	17.41%	18.75%	1.34%
V20	10	23.75%	25.00%	1.25%
V40	19	24.34%	25.00%	0.66%

比较表 2-10 和表 2-3 显示了差分输入与单端输入相比，每个 ADS125H18 版本的 OWCS 差值范围更小。该差异是由差分对中的另一个输入引入的额外电阻分压器 (R_A 和 R_B) 导致的。因此，与单端输入相比，使用差分输入检测 OWCS 故障相对更困难。

2.3.2 使用 ADS125H18EVM 验证具有差分输入的 OWCS 操作

使用 ADS125H18 评估模块 (EVM) 执行测试以验证 OWCS 运行情况。ADS125H18 EVM 是一个易于使用的平台，用于评估 ADS125H18 的主要功能和性能。借助硬件、软件以及通过通用串行总线 (USB) 接口连接计算机，ADS125H18EVM-PDK 可以简化对器件的评估。图 2-20 展示了 ADS125H18 EVM。

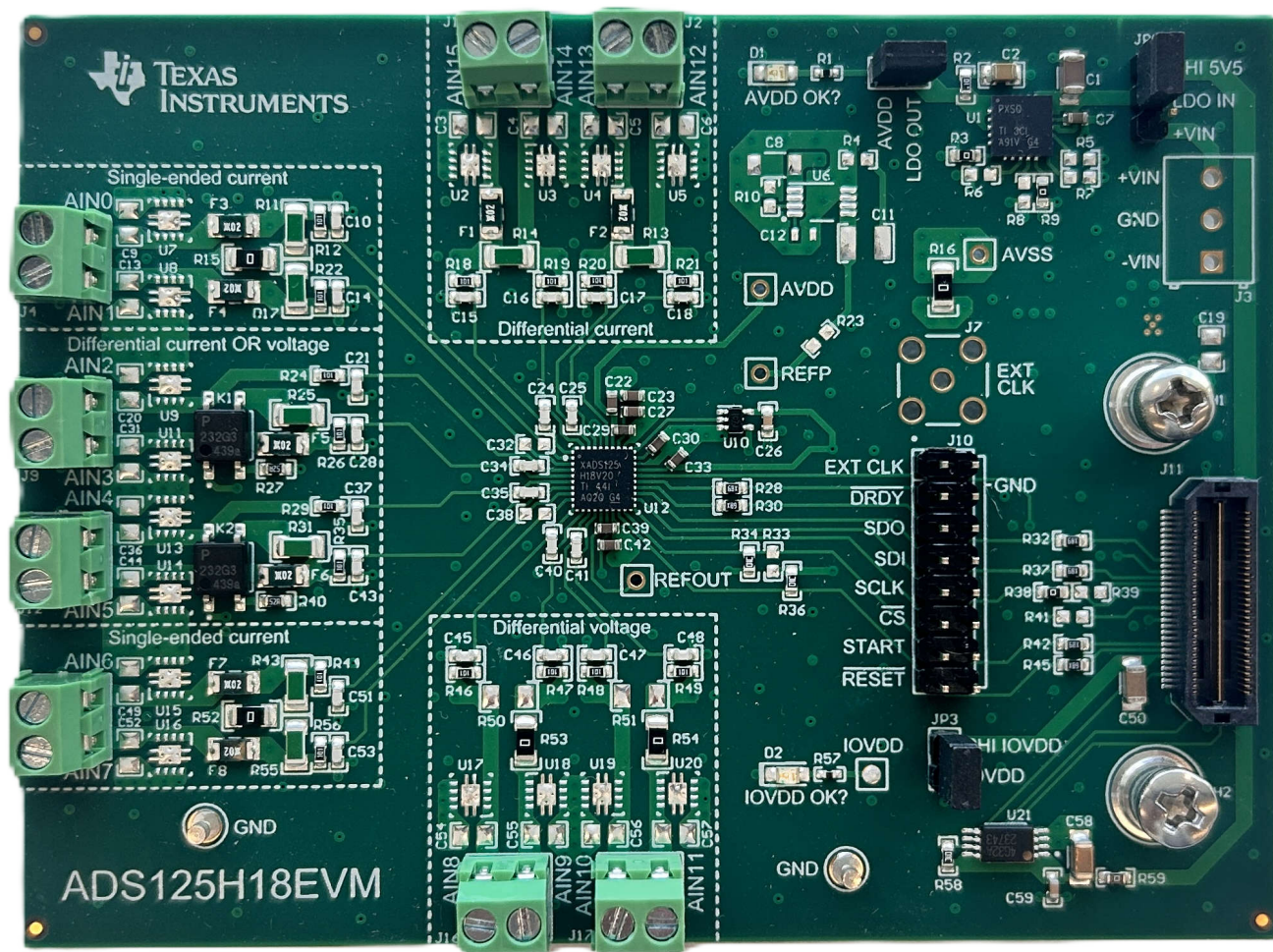


图 2-20. ADS125H18EVM 电路板图像

以下 ADC 和 EVM 条件用来执行 OWCS 验证：

- ADS12H18V20
- 内部 25.6MHz 振荡器
- 速度模式 3 ($f_{MOD} = 12.8\text{MHz}$)
- 内部 2.5V 基准电压
- 单次序列模式
- 四个启用的步骤：
 - 正输入通道
 - 步骤 1 = OWCS 禁用
 - 步骤 2 = OWCS 启用
 - 负输入通道
 - 步骤 3 = OWCS 禁用
 - 步骤 4 = OWCS 启用
- 三种输出数据速率 (ODR)：
 - 1.6kSPS (sinc4+sinc1 滤波器, $OSR = 8000$)
 - 12.5kSPS (sinc4 滤波器, $OSR = 1024$)
 - 50kSPS (sinc4+sinc1 滤波器, $OSR = 256$)
- 每个 OWCS 步骤 512 次转换 (用于捕获可能的稳定行为)
- 无外部无源 (R 或 C) 元件

2.3.2.1 使用差分输入验证 OWCS 操作

图 2-21 显示了在 ADS125H18 EVM 上使用差分输入的简单 OWCS 验证设置。在端子块和 ADC 输入引脚之间未安装无源器件。在 EVM 端子块的正负输入之间（例如 AIN8 和 AIN9 之间）连接了各种 0.1% 的 R_{SOURCE} 电阻器，用于验证在宽输入阻抗范围内的性能。此配置会向 ADC 产生 0V 输入信号，以简化分析。

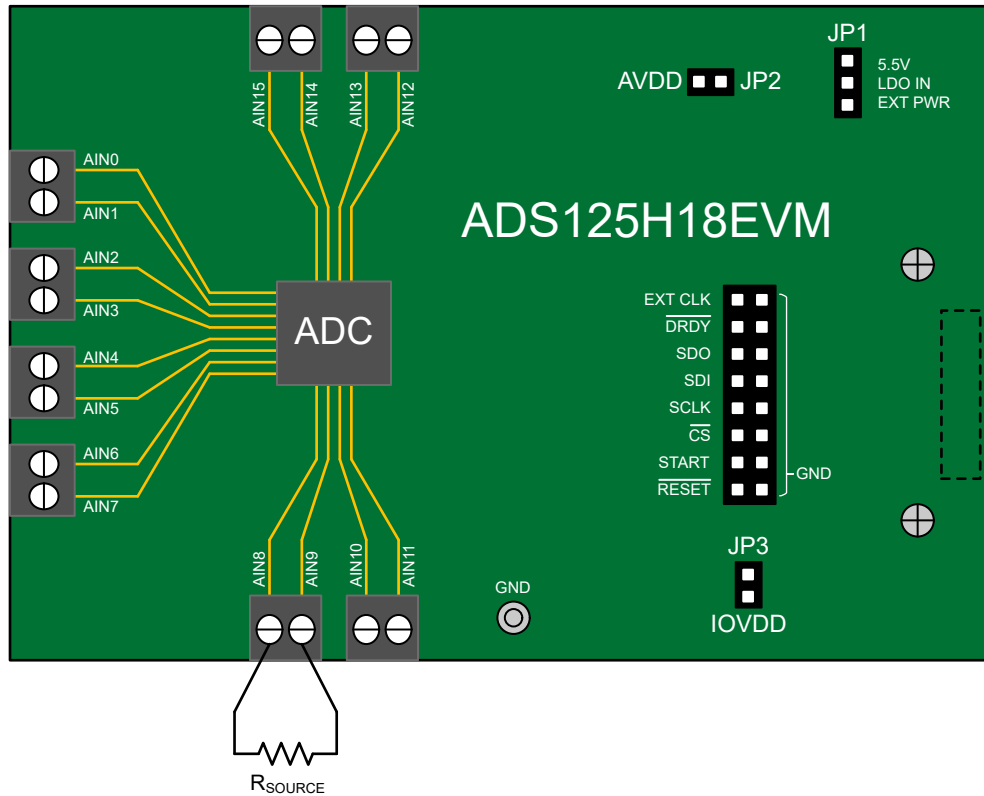


图 2-21. 差分输入的 OWCS 验证设置

根据节 2.1，检测差分输入的开路需要进行四次测量：每根线一次基线测量以及一次检测测量。首先，通过在禁用 OWCS 的情况下进行 512 次转换，然后在启用 OWCS 的情况下进行 512 次转换来测量正输入通道。接下来，通过在禁用 OWCS 的情况下进行 512 次转换，然后在启用 OWCS 的情况下进行 512 次转换来测量负输入通道。我们对禁用 OWCS 时的 1024 次转换取平均值，对启用 OWCS 时的 1024 次转换取平均值。然后使用方程式 1 计算两个 $OWCS_{Delta_Dif}$ 值，并通过重新排列方程式 13 中的项转换为预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值。表 2-11 显示了在 3 个不同 ODR 和 6 个不同 R_{SOURCE} 值下测得的平均结果：

表 2-11. 使用不同 ODR 和 R_{SOURCE} 输入（差分输入）测量的 $OWCS_{Delta}$ 值和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值

R_{SOURCE} (k Ω)	ODR = 1.6kSPS		ODR = 12.5kSPS		ODR = 50kSPS	
	$OWCS_{Delta_Dif}$ f	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_Dif}$ f	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_Dif}$ f	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)
25.5	23.76%	29.33	23.76%	29.68	23.76%	26.18
99.9	23.80%	102.80	23.80%	105.24	23.80%	99.04
499.9	23.96%	502.89	23.96%	504.66	23.96%	492.91
1000.0	23.41%	999.91	24.11%	1003.13	24.01%	938.98
1999.9	24.31%	1994.77	24.30%	1991.76	24.30%	1970.80
∞ (开路)	25.01%	>1G	25.01%	>1G	25.00%	>1G

表 2-11 表明，对于几乎所有 R_{SOURCE} 值，OWCS 可正确确定在不同 ODR 上施加的差分源阻抗。不过，表 2-11 也显示了预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值和实际 R_{SOURCE} 值之间的近似 4k Ω 偏移。幸运的是，这种看似较大的 k Ω 误

差，实际上仅导致平均输入代码变化 0.05%，可归因于 ADS125H18 电阻分压器的匹配性能。最终结果是 OWCS 故障检测按预期运行：此功能可以准确识别开路以及源阻抗的显著变化。

2.3.2.2 使用差分输入对 OWCS 使用较少转换次数

表 2-11 显示了根据 2048 个样本计算出的平均 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值。节 2.3.1 规定每个序列步长使用 512 次转换来捕获任何可能的稳定行为。然而，在许多工业系统中，总共进行 2048 次转换来检测断线可能需要不切实际的时长。例如，在 1.6kSPS 下进行 2048 次转换大约需要 1280ms。分析采样数据点有助于指明实际需要多少次转换才能实现准确故障检测。

图 2-22 逐点绘制 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值，而不是表 2-11 中显示的单个平均值。图 2-22 使用 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 和 3 个不同的 ODR 值：1.6kSPS、12.5kSPS 和 50kSPS。请注意，图 2-22 仅绘制了正输入通道的结果，因为负输入通道的结果实际上是相同的。

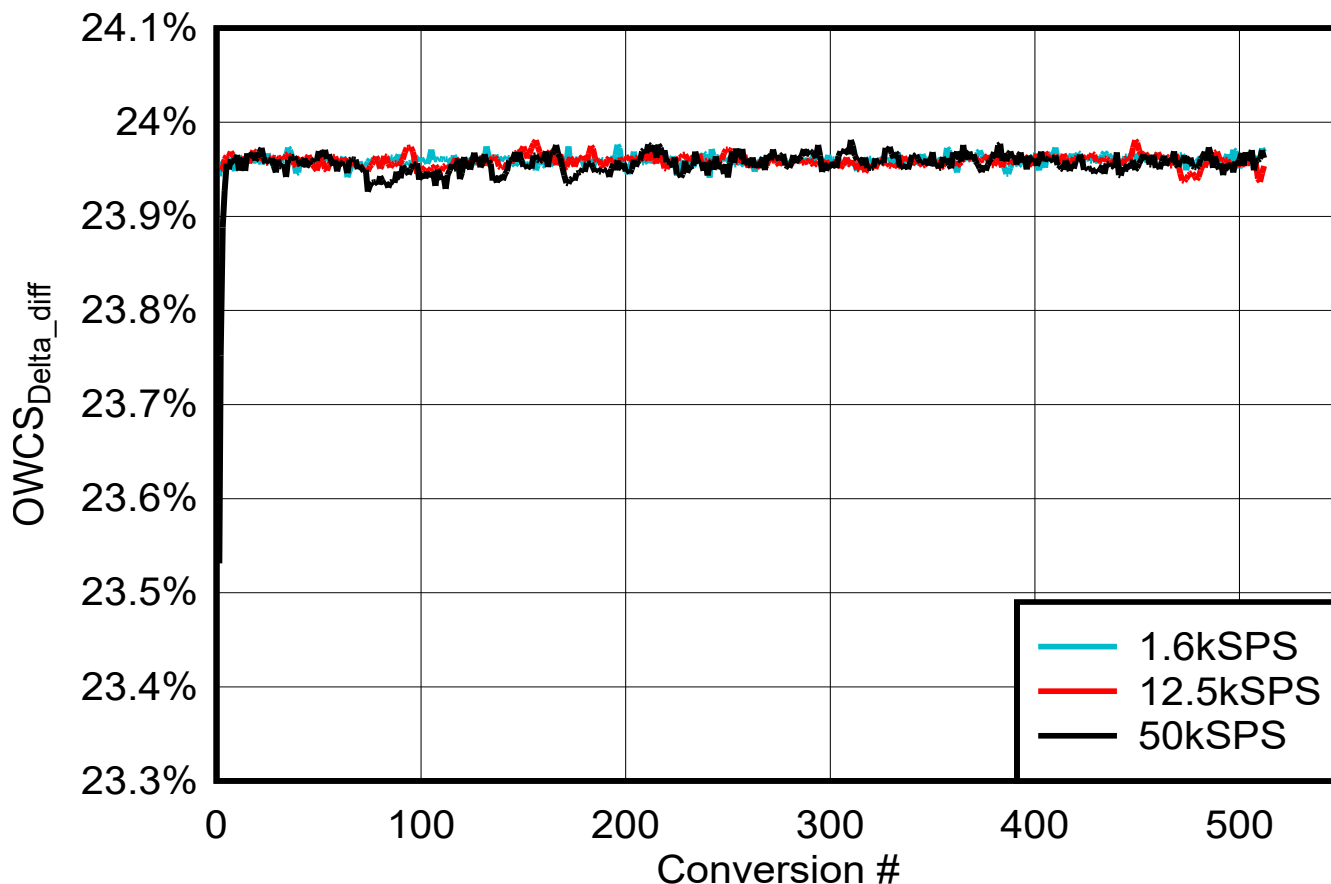


图 2-22. 测量的 $OWCS_{Delta}$ 值绘制逐点图以显示稳定行为（差分输入， $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ ）

图 2-22 表明数据中存在一些稳定行为，但由于不稳定的异常值，因此有用信息很少。将此数据分解为不稳定和稳定的元件有助于阐明可能发生故障检测错误的原因。另请注意，此行为显示在 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 时，但存在于 R_{SOURCE} 的所有值中。

2.3.2.2.1 差分输入的不稳定数据

表 2-12 包含测得的 $OWCS_{Delta_Diff}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值（仅根据不同 ODR 下的前三个转换数据计算得出）：

表 2-12. 仅使用第一次转换数据点测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值（差分输入， $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ ）

ODR	仅前三次转换	
	$OWCS_{Delta_Diff}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$
1.6kSPS	23.95%	474.32

表 2-12. 仅使用第一次转换数据点测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值 (差分输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$) (续)

ODR	仅前三次转换	
	$OWCS_{Delta_Diff}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$
12.5kSPS	23.95%	478.92
50kSPS	23.68%	0 (短路)

重要的是, 表 2-12 显示 $ODR = 50kSPS$ 时不稳定的数据表示短路, 而不是 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ 。使用前三个转换结果来确定这些条件下的断线问题可能会给用户带来误报。相比之下, 其他两个 ODR 设置可以正确预测 R_{SOURCE_OWCS} 值。这些组合结果表明, 更快的数据速率可能会导致错误的 $OWCS$ 计算。当用户为系统选择 $OWCS$ 数据速率和转换次数时, 必须考虑这种可能性。

2.3.2.2.2 差分输入的稳定数据

图 2-23 显示了与图 2-22 相同的数据, 但删除了所有 ODR 的前三次转换。换句话说, 图 2-23 绘制了多次转换的平均转换 4 到 512 个点点对点转换, 而不是单个值:

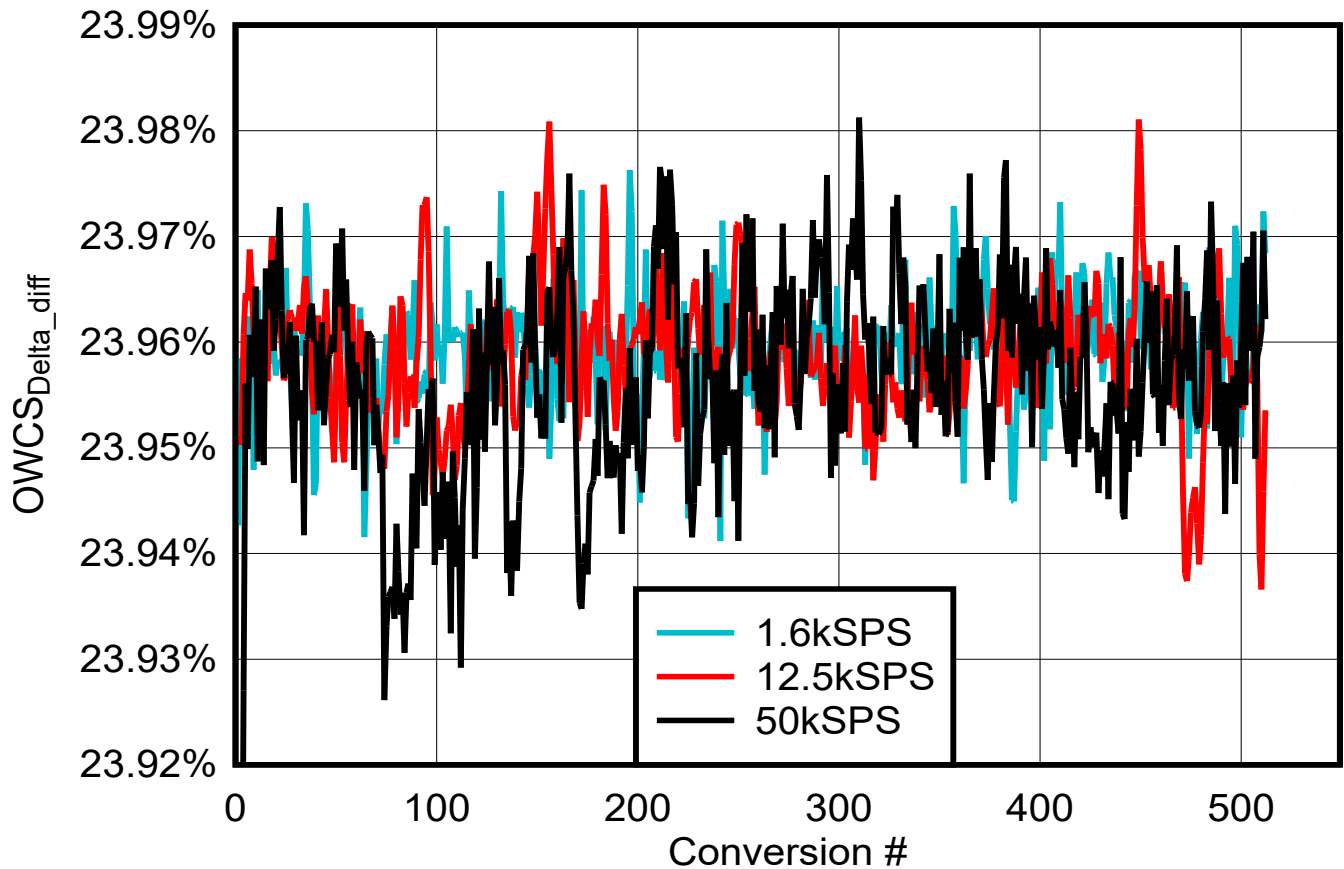


图 2-23. 测得的 $OWCS_{Delta}$ 值 - 不包括前 3 次转换 - 在 ODR 上绘制的逐点图 (差分输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

图 2-23 展示了所需的 $OWCS$ 计算行为。 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值通常具有高斯 (宽带) 噪声分布。此外, 由于 ADC 数字滤波器带宽也会降低, 随着 ODR 降低, 噪声分布会变得更严格。这两个因素都表明了主要受热噪声影响的典型 ADC 数据 (无趋稳效应), 可以正确预测任何转换的 R_{SOURCE_OWCS} 。

表 2-13 分析图 2-23 中 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值的分布, 以确定所预测 R_{SOURCE_OWCS} 的最小和最大变化:

表 2-13. 测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 方差 (差分输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

ODR	最小值**		最大值**		差值 (最大值 - 最小值) (kΩ)
	$OWCS_{Delta_Diff}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$	$OWCS_{Delta_Diff}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$	

表 2-13. 测得的 $OWCS_{\Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} 方差 (差分输入, $R_{SOURCE} = 500k\Omega$) (续)

1.6kSPS	23.93%	451.34	23.98%	553.54	102.20
12.5kSPS	23.94%	438.78	23.98%	567.73	128.95
50kSPS	23.93%	410.18	23.98%	568.34	158.15

**不包括前三次转换

表 2-13 显示, 在最低 ODR (1.6kSPS) 下, 最小值和最大值之间的差异较小, 并随着 ODR 的增加而增加。不过, 在所有情况下, 最小值和最大值仍可正确接近 $500k\Omega$ R_{SOURCE} 阻抗。因此, 可以得出结论: 在这些条件下使用明显更少的转换 (<512) 可以在不影响可靠性的情况下实现更快的断线检测。

2.3.2.3 输入电容如何影响差分输入的 $OWCS$ 性能

节 2.3.2.1 描述了在端子块和 ADC 输入引脚之间未安装无源器件的情况下使用标准 ADS125H18 EVM 时的 $OWCS$ 性能。不过, 许多工业系统的输入端包含用于噪声抑制或其他目的的电容器。图 2-24 展示了一个系统示例, 其中在 AIN8 和 AIN9 模拟输入之间安装了一个红色差分电容器, 在每个输入和接地之间安装了蓝色共模 (单端) 电容器。ADS125H18 EVM 为这些元件提供默认未组装的空间。

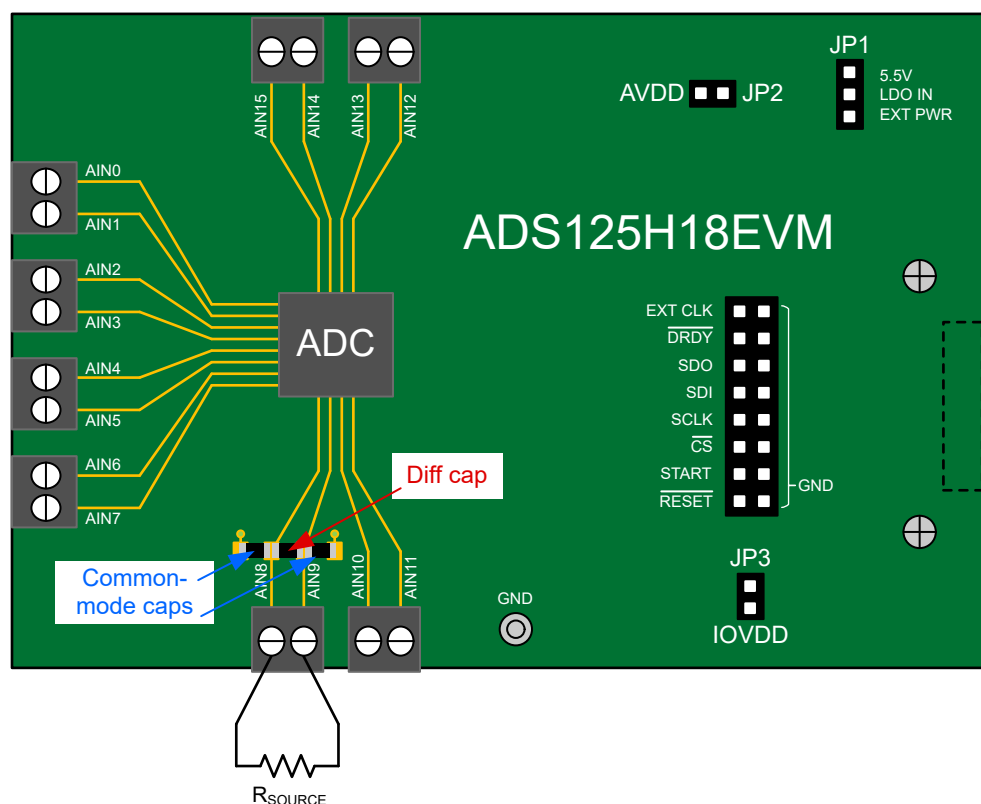


图 2-24. 使用输入电容测量 ADS125H18EVM 上的差分输入

在模拟输入端添加电容有助于降低噪声, 但代价是电容器充电会增加建立时间。当电流源 ($OWCS$) 接通时, 这种行为会影响测量, 因为电容器无法瞬间充电至所需的电压。当 $OWCS$ 关断时, 也可以测量这种影响, 因为电容器不能瞬时放电。

ADS125H18 EVM 上安装了多个电容器, 用于测量输入电容对 $OWCS$ 检测行为的影响。否则, 使用的设置与节 2.3.2 开头列出的设置相同。首先, 通过在禁用 $OWCS$ 的情况下进行 512 次转换, 然后在启用 $OWCS$ 的情况下进行 512 次转换来测量正输入通道。接下来, 通过在禁用 $OWCS$ 的情况下进行 512 次转换, 然后在启用 $OWCS$ 的情况下进行 512 次转换来测量负输入通道。我们对禁用 $OWCS$ 时的 1024 次转换取平均值, 对启用 $OWCS$ 时的 1024 次转换取平均值。然后使用方程式 1 计算两个 $OWCS_{\Delta_Diff}$ 值, 并通过重新排列方程式 13 中的项转换

为预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值。表 2-14 显示了当 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 时，在 3 个不同的 ODR 和 4 个不同输入电容值上测得的平均结果：

表 2-14. 不同 ODR 和输入电容下测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS} (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$)

输入电容 (nF)	ODR = 1.6kSPS		ODR = 12.5kSPS		ODR = 50kSPS	
	$OWCS_{Delta_Diff}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_Diff}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	$OWCS_{Delta_Diff}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)
1	24.00%	616.53	24.00%	611.37	23.97%	528.68
10	23.96%	318.14	23.89%	324.16	23.67%	0.00
100	23.89%	515.54	23.41%	0.00	22.86%	0.00
1000	23.29%	0.00	22.62%	0.00	22.48%	0.00

表 2-14 表明 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值随数据速率和输入电容的变化而有很大差异。例如，当 $ODR = 1.6kSPS$ 且输入电容 = 1nF 时，预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值为 616.53k Ω 。此结果约为理想 800k Ω R_{SOURCE} 值的 77%。但是，当 $ODR = 50kSPS$ 且输入电容 = 1000nF 时，预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值为 0 Ω ，表示完全短路！逐点查看数据有助于阐明不同参数之间存在如此大差异的原因。

图 2-25 逐点绘制了 4 个不同输入电容值在 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 和 $ODR = 12.5kSPS$ 时的 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值：1nF、10nF、100nF 和 1000nF。

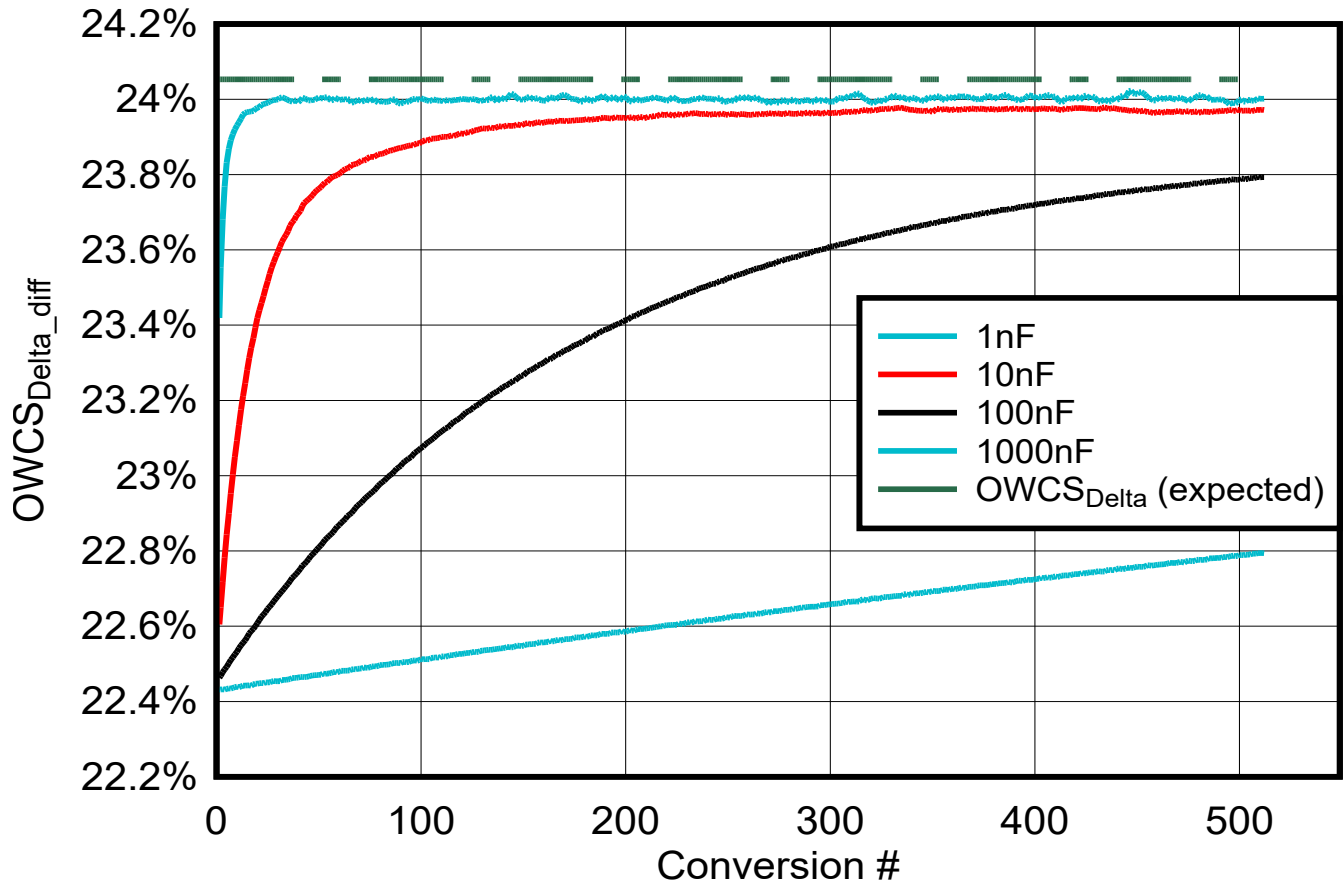


图 2-25. 不同输入电容值下的 $OWCS_{Delta}$ 行为 (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$)

图 2-25 显示了输入电容对 $OWCS$ 行为的显著影响，以及表 2-14 中列出的结果存在如此极端变化的原因：

- 1nF 图在大约 35 次转换后达到大致等于预期 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值 24.05% 的稳态值
- 10nF 图在大约 200 次转换后达到约等于预期 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值 24.05% 的稳态值
- 另外两 (2) 个图永远不会达到预期的 $OWCS_{Delta_SE}$ 值
- 其他两 (2) 个图即使在 512 次转换后也无法达到稳定状态

这些结论是合理的，因为电容器时间常数会随着输入电容的增加而增加，从而导致稳定时间延长。

如前所述，在安装输入电容器的情况下更改 ODR 也会影响 OWCS 性能。图 2-26 绘制了 3 个不同 ODR 的 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 和输入电容 = 10nF 时的 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值：1.6kSPS、12.5kSPS 和 50kSPS。曲线图 x 轴以毫秒为单位，可清楚地指示 ADC 捕获的充电行为。此外，所有图表都从同一点开始并相互叠加。

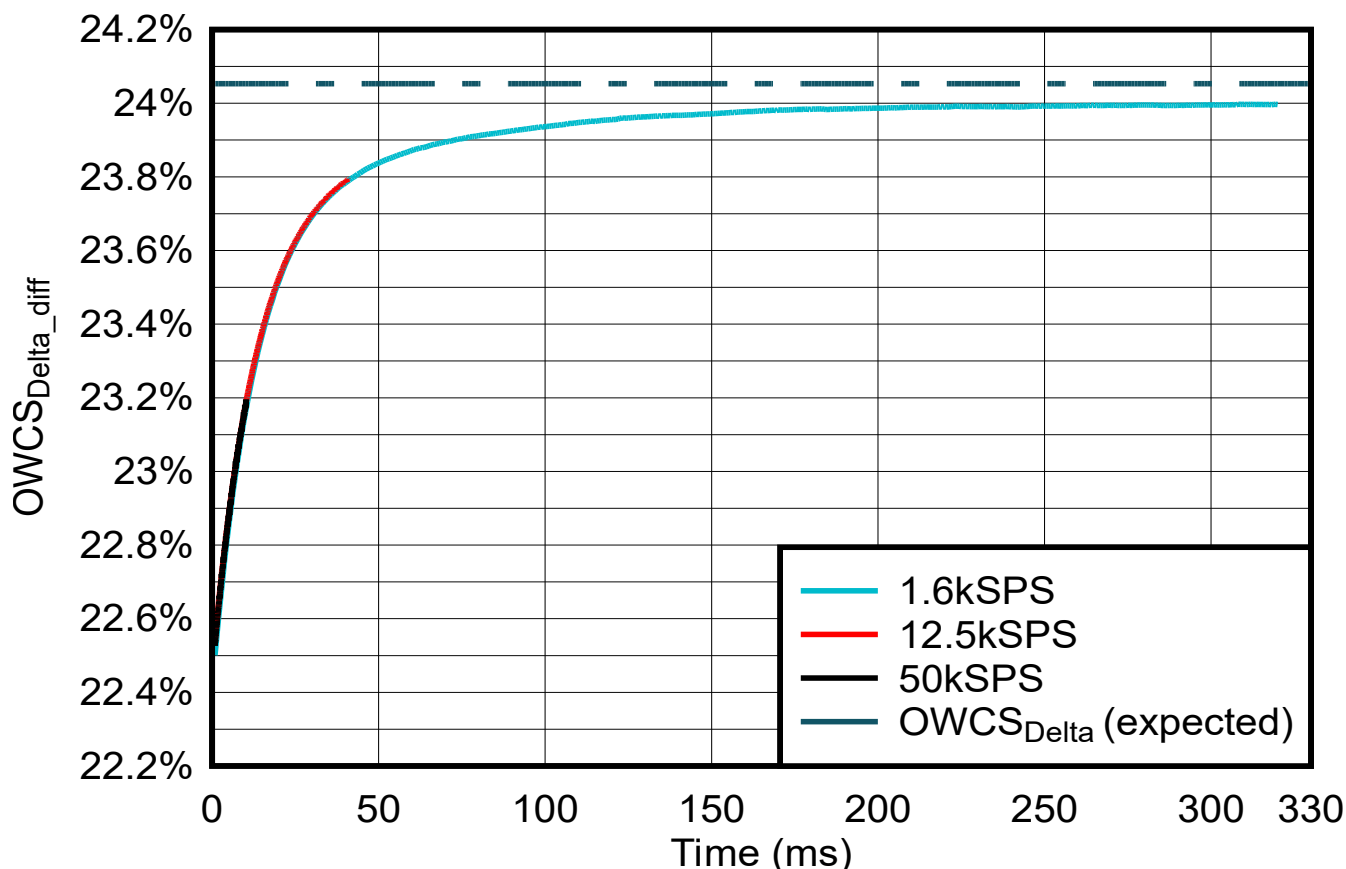


图 2-26. 不同 ODR 值下的 $OWCS_{Delta}$ 行为 (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, 输入电容 = 10nF)

同样，这些结果是合理的，因为即使电容器时间常数保持不变，ADC 采样时间也会随着 ODR 的增加而减少。因此，随着数据速率的增加，ADC 捕获的电容器充电行为更多、稳态行为更少，从而导致测量不太稳定。

如前所述，输入电容确实有助于降低噪声。图 2-27 绘制了在 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 且 $ODR = 12.5kSPS$ 下禁用 OWCS 且具有 4 个不同输入电容值时测得的 ADC 代码点曲线：1nF、10nF、100nF 和 1000nF。

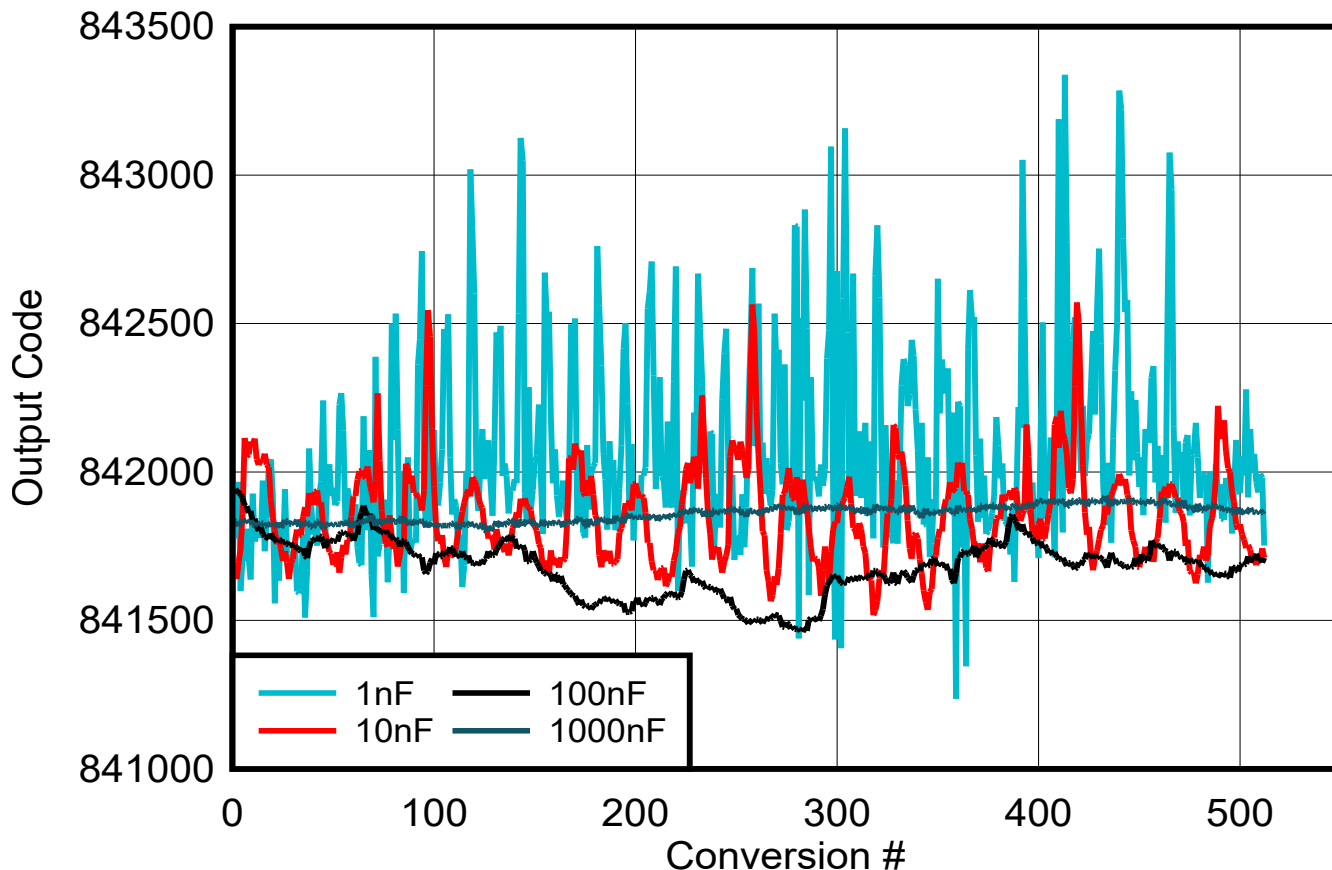


图 2-27. 不同输入电容值下的 ADC 代码行为 (差分输入, 禁用 OWCS, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$)

图 2-27 定性地表明, 噪声扩散会随着输入电容的增加而降低。具体而言, 当输入电容 = 1nF 时的 RMS 噪声为 265.39 个代码, 而当输入电容 = 1000nF 时的 RMS 噪声仅为 16.97 个代码。设计人员必须注意在输入电容器的降噪优势与电容器稳定带来的挑战之间取得平衡。

2.3.2.3.1 具有输入电容的背对背差分 OWCS 测量

关于输入电容如何影响差分输入 OWCS 性能的另一考虑因素是进行 OWCS 测量的顺序。具体来说, 即使在禁用 OWCS 时, 背对背测量也会导致稳定行为。例如, 假设背对背测量使用以下序列:

1. 在 OWCS 关闭的情况下测量 $A_{IN}(n)$ -RESN
2. 在 OWCS 开启的情况下测量 $A_{IN}(n)$ -RESN
3. 在 OWCS 关闭的情况下测量 $A_{IN}(n+1)$ -RESN
4. 在 OWCS 开启的情况下测量 $A_{IN}(n+1)$ -RESN

用户可能希望步骤 1 和 3 表现出图 2-27 中所示的稳定行为, 而步骤 2 和 4 表现出图 2-25 中所示的稳定行为。但是, 即使在步骤 2 完成后, 差分输入电容也会继续保持电荷, 因此步骤 3 也会表现出稳定行为。图 2-28 绘制了 A_{IN12} 和 A_{IN13} 之间差分 OWCS 测量的所有四个步骤期间的 ADC 输出代码, 其中 $R_{SOURCE} = 100k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 且输入电容 = 10nF:

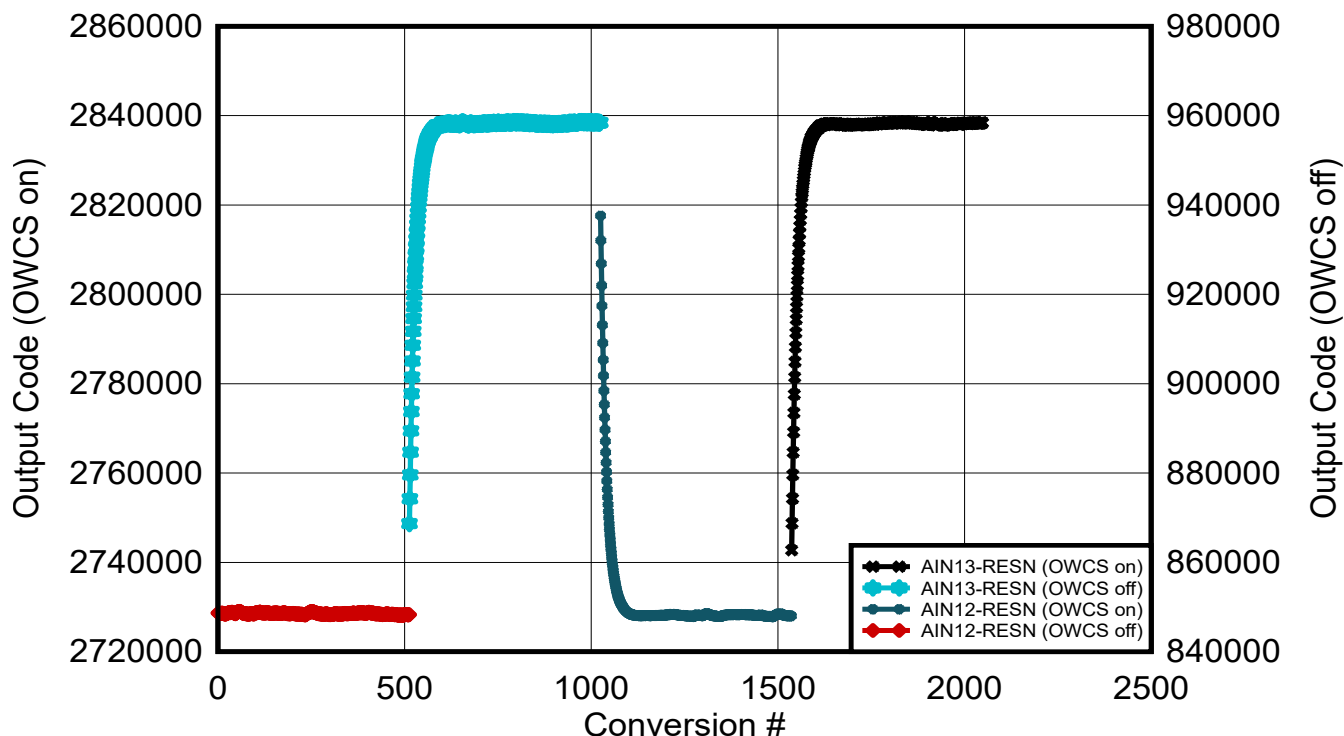


图 2-28. 背对背 OWCS 测量的 ADC 代码行为 (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$, 输入电容 = $10nF$)

图 2-28 显示了步骤 1、2 和 4 的预期行为：步骤 1 期间的稳定代码和步骤 2 和 4 期间的稳定行为。但是，即使禁用 OWCS，步骤 3 也表现出稳定行为，因为在步骤 2 期间累积的输入电容器电荷需要等效的时间来消耗。用户可以采用节 2.3.2.4 中概述的技术来避免或减少这种趋稳行为。

2.3.2.4 使用 ADS125H18 可编程延迟来减轻差分输入的稳态影响

ADS125H18 集成了可编程延迟功能，可用于在 ADC 开始转换之前等待任何外部稳定行为达到稳定。这种延迟发生在转换 START 后的第一次转换之前，以及 ADC 定序器处于活动状态时的每个新序列步骤开始时。延迟值范围为 0 到 65535 个调制器周期 t_{MOD} ，并且每个步骤均可独立编程。

例如，当 $f_{MOD} = 12.8MHz$ 时，方程式 15 和方程式 16 分别计算一个 t_{MOD} (以微秒为单位) 和 1ms 延迟所需的 t_{MOD} 周期数：

$$t_{MOD} (\mu s) = \frac{1}{f_{MOD}} = \frac{1}{12.8MHz} = 0.078125 \mu s \quad (15)$$

$$t_{MOD} (periods) = \frac{Delay (\mu s)}{t_{MOD} (\mu s)} = \frac{1000 \mu s}{0.078125 \mu s} = 12800 \quad (16)$$

图 2-29 以黄色显示了 ADS125H18 数据就绪 (DRDY) 信号的逻辑分析仪捕获结果。DRDY 表示新数据已准备好从 ADC 输出。DRDY 脉冲之间的时间用于测量采样到采样的转换延迟。绿色框指示 ADS125H18 序列发生器何时自动从第 1 步转换 (OWCS 禁用) 并且在第 2 步 (OWCS 启用) 开始转换。ADC 使用 sinc4 滤波器，工作频率为 $ODR = 12.5kSPS$, $DELAY = 0$ ，使得第一次转换延迟约为以红色突出显示的 $320\mu s$ 。蓝色框表示所有后续转换均可在 $1 / ODR$ 条件下使用。

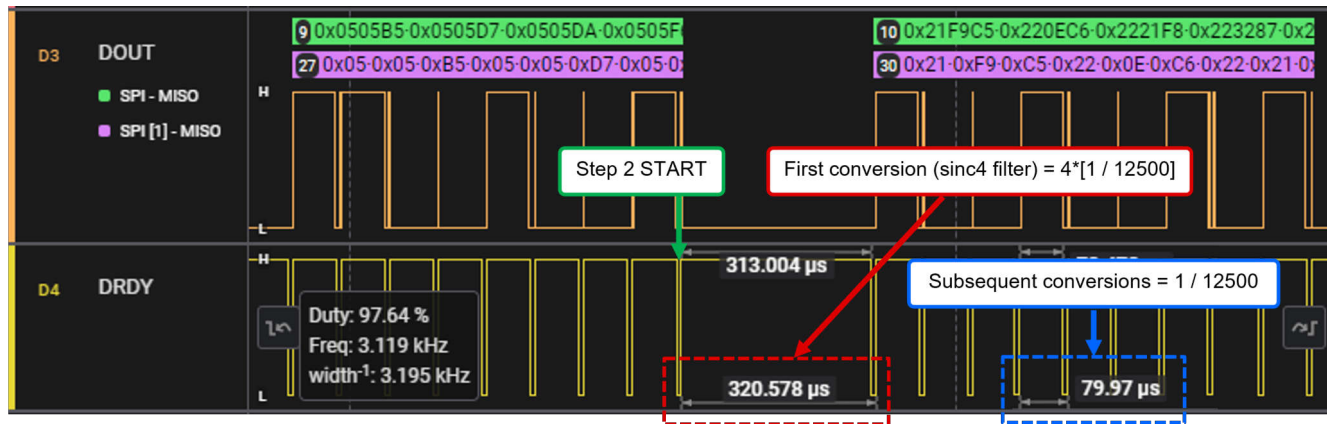


图 2-29. 可编程延迟 = 0d 时的 ADS125H18 DRDY 时序 (差分输入, Sinc4 滤波器, ODR = 12.5kSPS)

相比之下, 图 2-30 显示了与图 2-29 相同的行为, 只是 DELAY = 12800 (1ms)。红色突出显示的框表示第一次转换延迟因此延长了一毫秒。后续蓝色转换延迟保持不变。

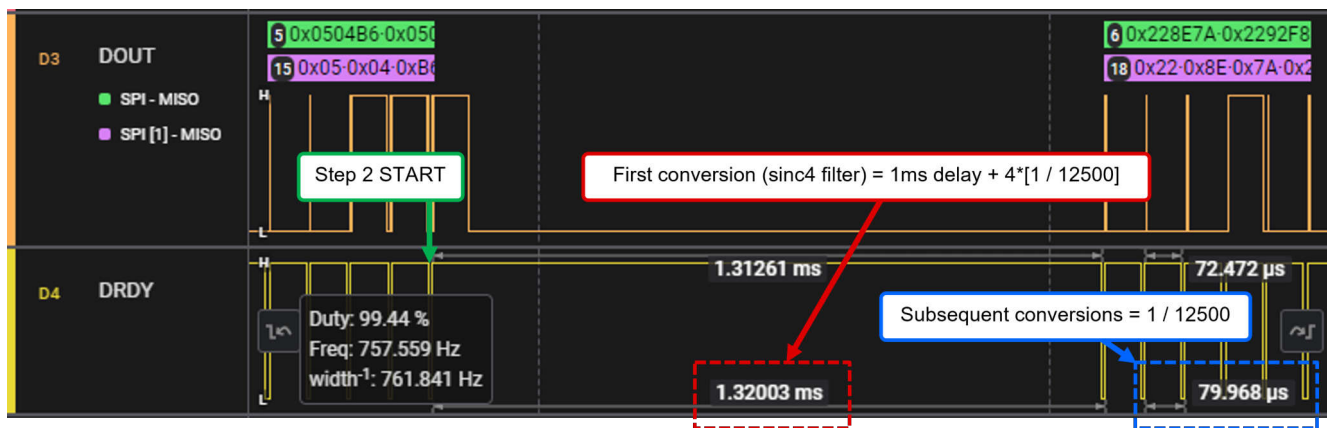


图 2-30. 可编程延迟 = 12800d 时的 ADS125H18 DRDY 时序 (差分输入, Sinc4 滤波器, ODR = 12.5kSPS)

重要的是, 延迟功能只会推迟 ADC 采样过程, 以便序列发生器在“步骤 2 START”处立即启用 OWCS 特性。该延迟为 OWCS 功能在 ADC 转换过程开始之前稳定提供了额外的时间, 从而实现更高精度的测量。表 2-15 针对两个 DELAY 值, 比较了 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 且输入电容 = 10nF 时的测量结果和预测结果: 0ms 和 1ms

表 2-15. 可编程延迟 = 0ms 和 1ms (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, $ODR = 12.5kSPS$, 输入电容 = 10nF) 时测得的 $OWCS_{Delta}$ 和预测的 R_{SOURCE_OWCS}

ODR	DELAY = 0ms			DELAY = 1ms		
	$OWCS_{Delta_Diff}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	错误	$OWCS_{Delta_Diff}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	错误
12.5kSPS	23.89%	323.28	60%	23.92%	384.00	52%

表 2-15 显示了可编程延迟有助于将实际和预测的 R_{SOURCE} 值之间的误差降低约 8%。通过使 ADC 捕获更少的电容器充电行为和更多的稳态行为, 该延迟可提供更稳定的测量结果。图 2-31 通过逐点绘制 $OWCS_{Delta_Diff}$ 值, 而不是表 2-15 中显示的 512 次转换的平均值, 示出了这种行为。图 2-31 使用 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、输入电容 = 10nF 和两个不同的 DELAY 值: 0ms 和 1ms

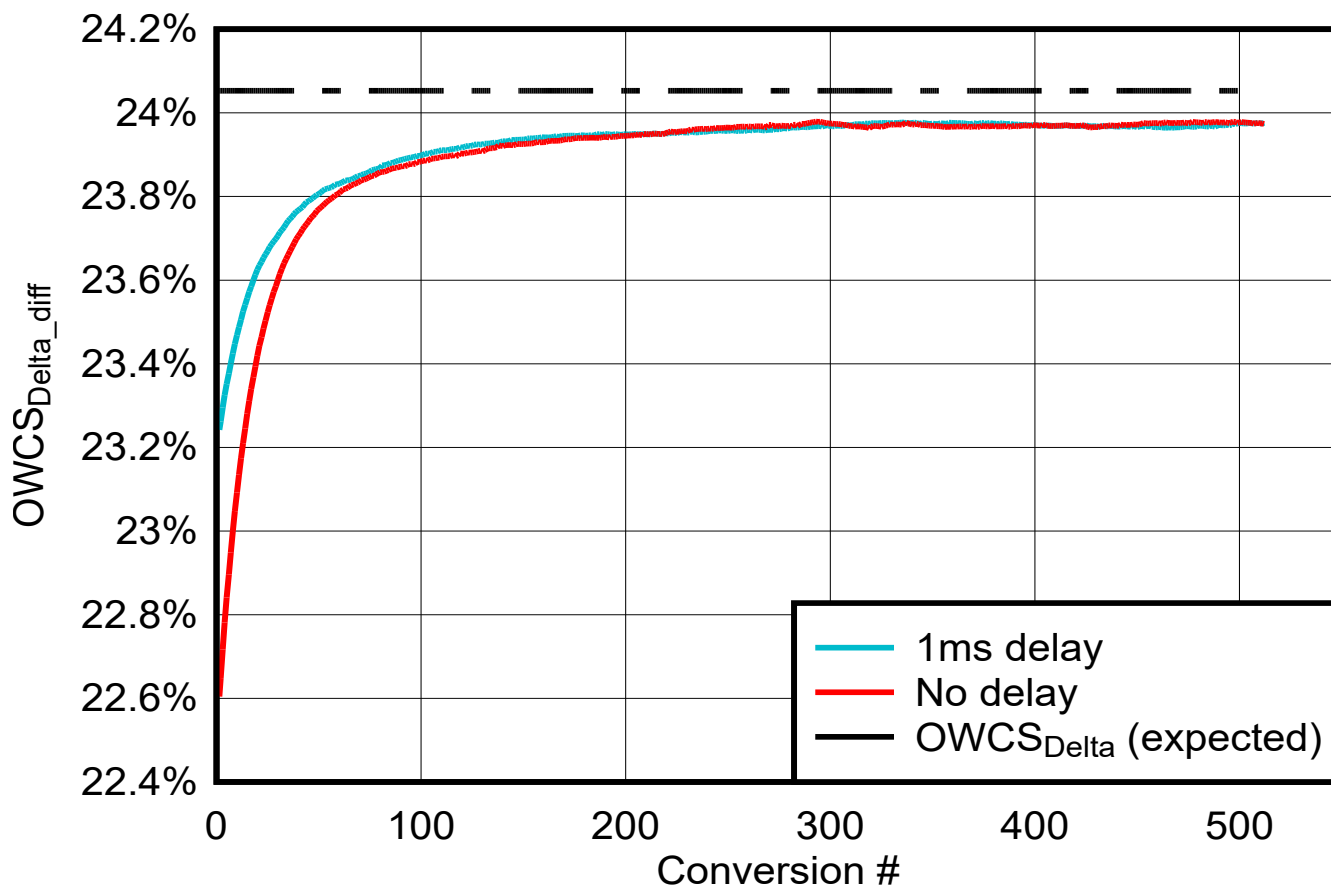


图 2-31. 可编程延迟 = 0ms 和 1ms (差分输入, $R_{SOURCE} = 800k\Omega$, 输入电容 = 10nF, ODR = 12.5kSPS) 时的 $OWCS_{Delta}$ 行为

图 2-31 显示了可编程延迟如何避免大多数初始电容器充电行为, 从而使平均 $OWCS_{Delta}$ 值更接近预期值。额外的延迟可进一步改善这种行为。最后, 图 2-31 显示了在一组特定的 ODR 和输入电容参数下, 特定延迟时间如何影响 OWCS 性能。如果用户更改任何这些系统参数, 可能需要不同的延迟值。

2.4 使用 ADS125H18 通道序列发生器来实现 OWCS 算法

ADS125H18 具有功能强大的通道序列发生器，可简化与 ADC 之间的通信。该序列发生器使用同一页面（或步骤）的多个副本，使用户能够存储多达 32 个不同的（易失性）测量配置。可按步骤进行编程的示例参数包括不同的输入通道、监控功能、输出数据速率、转换次数、GPIO 设置、转换 START 延迟等。序列发生器自动索引到下一个启用步骤，这使 ADS125H18 通道序列发生器能够使用以下指南极大地简化 OWCS 算法的实现：

- 很少启用 OWCS（例如，在每个完整测量周期结束时），以尽可能地增加测量目标信号所花费的时间
- 保留两个或四个步骤以分别在一个单端输入或一个差分输入上执行开路检测，从而更大限度地增加可用于其他测量的步骤数
- 为 OWCS 测量选择连续步骤，因为当禁用和启用 OWCS 时，OWCS 计算依赖于输入信号保持恒定。禁用 OWCS 测量和启用 OWCS 测量之间的额外延迟可能会导致错误的阈值计算
- 按单个序列扫描所有输入及监控步骤。使用上述两个或四个步骤，每个序列扫描一个 OWCS 通道。在每个序列完成后递增 OWCS 步骤测量通道
- 在单序列模式下运行序列发生器，因为在每个序列后都需要重新配置 OWCS 步骤

图 2-32 显示了如何根据以下指南设置 ADS125H18 序列发生器步骤：



图 2-32. 推荐的实现 OWCS 算法的序列发生器步骤配置

图 2-32 具有几个对实现 OWCS 算法至关重要的重要特性：

- 确保步骤数从左到右单调增加，因为 ADS125H18 序列发生器始终按递增顺序测量启用的步骤。换言之，第一个输入步骤（“步骤 A”）的步骤编号应小于下一个输入步骤（“步骤 A+1”），该步骤应小于“步骤 A+B”，该步骤应小于第一个监控步骤（“步骤 C”），依此类推
- 这些步骤不必是连续的，因为 ADS125H18 序列发生器仅通过启用的步骤进行索引。例如，用户可以选择输入步骤 1、3 和 27。下一部分的示例中也会显示此行为
- 务必设置两个或四个 OWCS 步骤，如序列末尾的绿色所示
- 单端输入仅使用两个绿色最左边的 OWCS 步骤，而差分输入使用所有四个 OWCS 步骤
- 仅对蓝色的输入步骤应用 OWCS 算法。图 2-32 还以红色显示监测步骤，这些步骤对于一般诊断很有用，但不能与 OWCS 功能一起使用。因此，实施 OWCS 算法并不严格要求监控步骤。

2.4.1 示例：为 OWCS 算法配置 ADS125H18 序列发生器

图 2-33 显示了测量输入信号和监控信号的示例系统，如下所示：

- 五个蓝色输入通道，包括单端和差分电压和电流输入的组合
- 三个红色监控通道，包括温度、AVDD 和 IOVDD

此外，图 2-33 以绿色突出显示了 ADS125H18 OWCS 特性和相关的多路复用器：

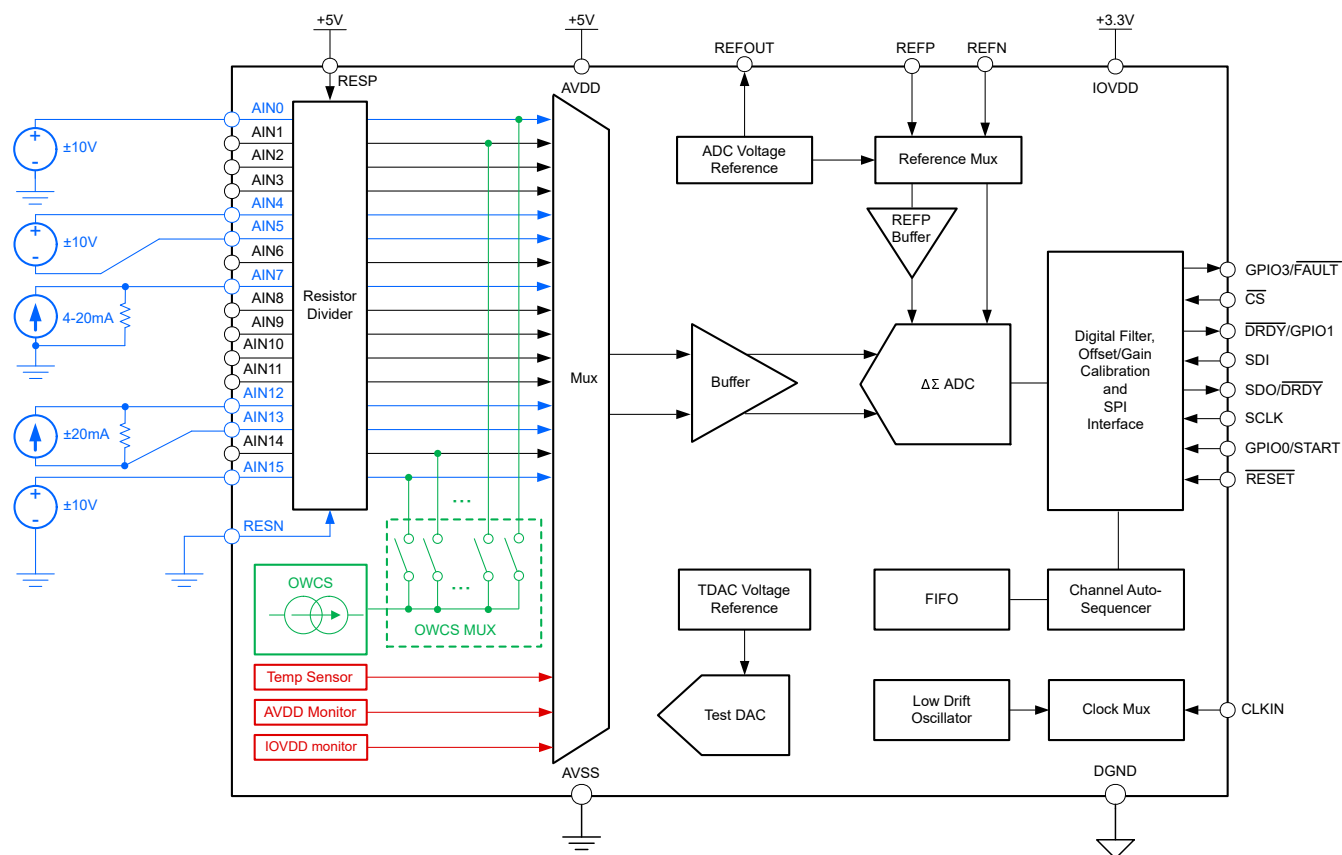


图 2-33. OWCS 算法示例的 ADS125H18 输入连接

图 2-34 使用图 2-32 中显示的格式演示如何为图 2-33 中的示例系统设置序列发生器。图 2-34 中显示的所有信息都可以存储在 ADS125H18 序列发生器中，并被随意选择用于本示例。

Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	<i>tbd</i>	<i>tbd</i>	<i>tbd</i>	<i>tbd</i>
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

图 2-34. OWCS 算法的序列发生器步骤示例

如下解释图 2-34：

- 第 1 行 = 用于该步骤的步骤编号
- 第 2 行 = 该步骤测量的通道
- 第 3 行 = 该步骤中要测量的转换次数。
- 第 4 行 = 该步骤是启用 (开启) 还是禁用 (关闭) OWCS

例如，步骤 13 测量输入 **AIN15** 和 **RESN** 之间的十个转换。请注意，**ADS125H18** 序列发生器允许用户按步配置许多其他参数；但是，这些参数不一定与 **OWCS** 算法相关，本文档中也没有进一步讨论。

图 2-34 还显示绿色的 OWCS 步骤的“通道”为待确定或 TBD。这些设置最初为 TBD，因为它们会从一个序列更改为下一个序列。但是，输入步骤和监控步骤保持不变。图 2-35 显示了如何在第一个序列期间配置 OWCS 步

骤：第一个和第二个 OWCS 步骤（分别为 #25 和 #26）都使用 AIN0-RESN 配置，因为这与第一个序列步骤 (#4) 中使用的通道相同。第一个序列步骤的重要设置以黄色突出显示。

Sequence 1

Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	AIN0-RESN	AIN0-RESN	x	x
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

x = don't care

Total conversions = 129

图 2-35. 示例：序列 1 特性

通过设置 START 位或切换 START 引脚来启动序列发生器。ADS125H18 序列发生器从左到右对图 2-35 中每个步骤进行索引，总计测量 129 次转换。用户必须决定如何使用从每个输入和监控步骤接收到的信息，以及计算 OWCS 阈值。

如有必要，在下一个序列启动之前重新配置 OWCS 步骤。图 2-36 展示了如何在第二个序列中配置 OWCS 步骤：第一个和第二个 OWCS 步骤（分别为 #25 和 #26）都配置了 AIN4-RESN，而第三个和第四个 OWCS 步骤（分别为 #27 和 #28）都配置了 AIN5-RESN。之所以需要这些设置，是因为第二步 (#7) 测量差分输入，但 OWCS 功能必须始终测量单端通道。第二个序列步骤的重要设置以黄色突出显示。

Sequence 2												
	x = don't care											
Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	AIN4-RESN	AIN4-RESN	AIN5-RESN	AIN5-RESN
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

Total conversions = 153

图 2-36. 示例：序列 2 特性

再次通过设置 START 位或切换 START 引脚来启动序列发生器。ADS125H18 序列发生器从左到右对图 2-36 中的每个步骤进行索引，测量的总转换为 153 次，因为在此序列中启用了最后两个 OWCS 步骤。用户必须决定如何使用从输入和监控步骤接收到的信息，以及计算每个单端输入的 OWCS 阈值。理想情况下，AIN4-RESN 计算出的 OWCS 结果应与 AIN5-RESN 的 OWCS 结果相同，因为这是差分测量。

图 2-37 按照相同的逻辑显示如何在启动接下来的三个序列中的每个序列之前重新配置 OWCS 通道，以便对蓝色的所有输入步骤通道进行断线分析。每个序列的重要设置以黄色突出显示。

Sequence 3

Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	AIN7-RESN	AIN7-RESN	x	x
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

x = don't care

Total conversions = 129

Sequence 4

Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	AIN12-RESN	AIN12-RESN	AIN13-RESN	AIN13-RESN
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

x = don't care

Total conversions = 153

Sequence 5

Step #	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Channel	AIN0-RESN	AIN4-AIN5	AIN7-RESN	AIN12-AIN13	AIN15-RESN	Temp sensor	AVDD	IOVDD	AIN15-RESN	AIN15-RESN	x	x
# of conv	6	8	8	24	10	3	3	3	32	32	12	12
OWCS	off	off	off	off	off	off	off	off	off	ON	off	ON

x = don't care

Total conversions = 129

图 2-37. 示例：序列 3 到 5 的特性

序列 5 完成后，已使用 OWCS 诊断所有输入步骤通道是否存在断线问题。此时，用户应重新配置 OWCS 通道，以回绕到第一个输入步骤通道，如图 2-35 所示，重新开始整个过程。然后，用户决定要运行的总序列数，以及在检测到断线问题时该怎么办。

2.4.2 了解 ADS125H18 示例代码中的 OWCS 算法

ADS125H18 产品文件夹在 [软件开发](#) 部分中提供了示例代码，该代码是使用 ADS125H18EVM 连接到 MSPM0G3507 Launchpad 进行设计和测试的。表 2-16 显示了 ADS125H18EVM 和 MSPM0 Launchpad 之间所需的硬件连接，这些连接使代码能够按预期工作：

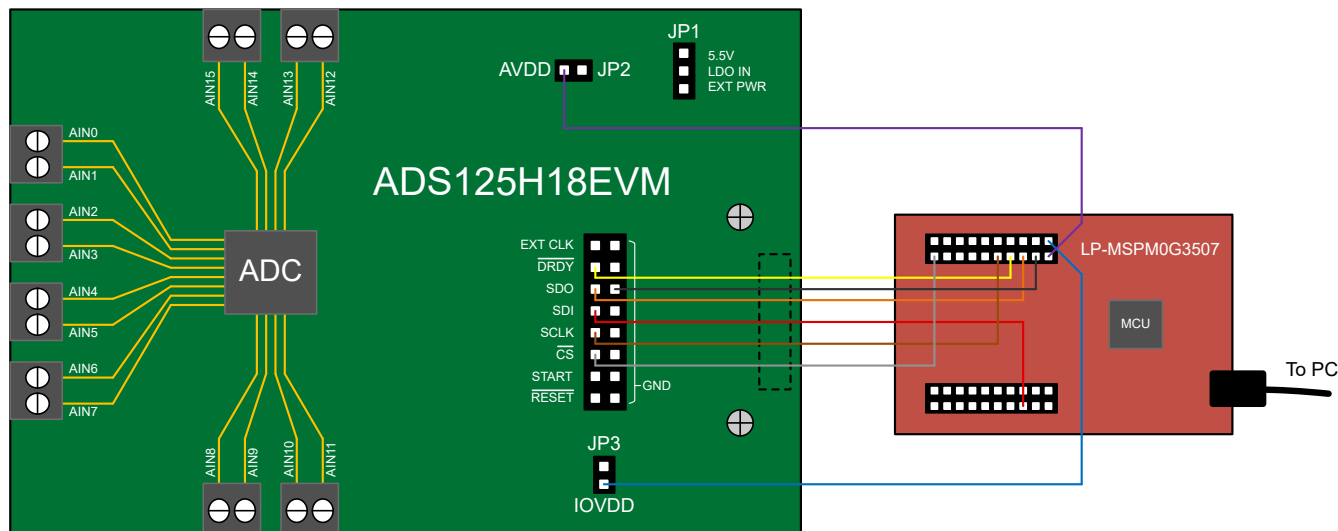


图 2-38. ADS125H18EVM 与 LP-MSPM0G3507 之间的连接图

表 2-16 总结了两个电路板之间的连接：

表 2-16. ADS125H18EVM 与 LP-MSPM0G3507 之间的引脚名称和引脚编号连接

ADS125H18EVM		LP-MSPM0G3507	
引脚名称	引脚编号	引脚名称	引脚编号
AVDD	JP2-2	5V	J3-21
IOVDD	JP3-1	3V3	J1-1
GND	J10-6	GND	J3-22
DRDY	J10-3	PA22	J3-24
SDO	J10-5	PB19	J3-23
SDI	J10-7	PB17	J2-18
SCLK	J10-9	PB18	J3-25
CS	J10-11	PA15	J3-30

ADS125H18 示例代码包括基于节 2.4 中指南的 OWCS 算法。图 2-39 显示了序列算法操作的流程图。此流程图可分为两个一般部分：初始化和转换 + 数据处理。

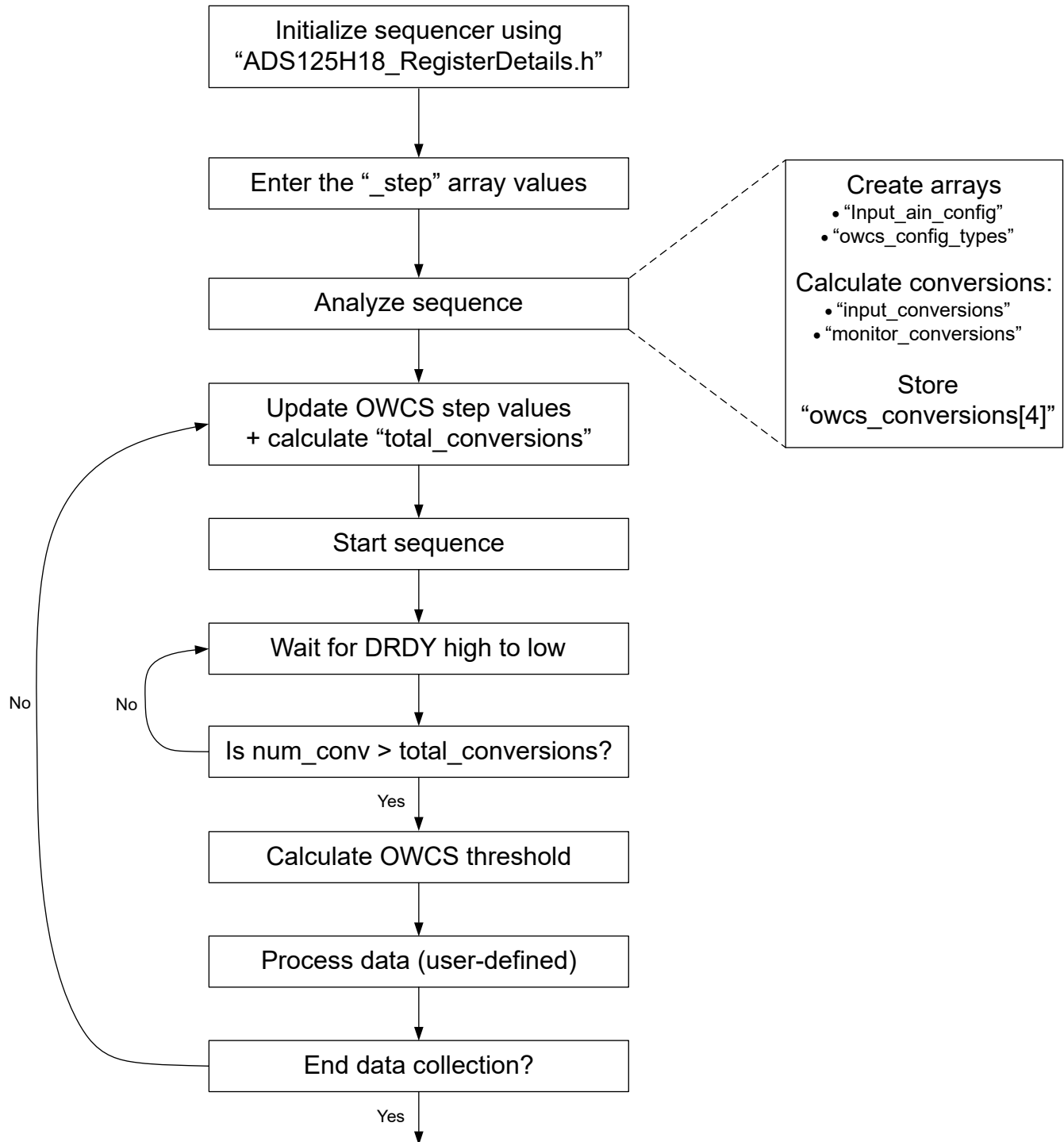


图 2-39. OWCS 算法流程图

后续各部分详细介绍了该流程图中每个步骤的用户要求和算法操作。

2.4.2.1 初始化

OWCS 算法需要用户提供一些信息，必须对这些信息进行分析和存储，才能正确执行剩余的代码：

- 使用 “ADS125H18_RegisterDetails.h” 文件 (用户) 初始化序列发生器
- 填充 “_step” 数组 (用户)
- 使用 retrieveStepConfig() 函数 (算法) 分析序列

以下子部分将更详细地讨论这些操作：

2.4.2.1.1 初始化序列发生器

在将示例代码工程导入所需的集成开发环境 (IDE) 后，找到 **Driver** 文件夹。图 2-40 展示了使用 Texas Instruments Code Composer Studio IDE 的 **Driver** 文件夹的内容。突出显示了“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件。

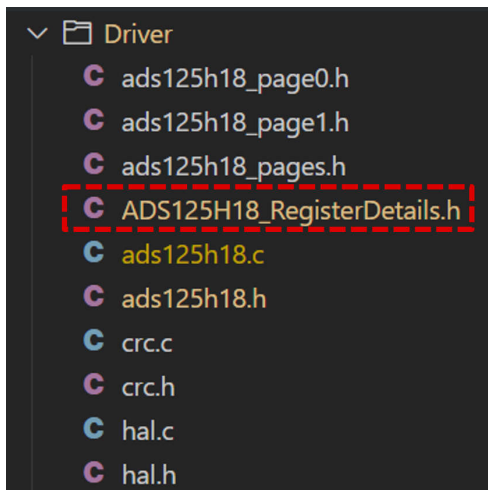


图 2-40. OWCS 代码项目中的 Driver 文件夹

确保“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件包含针对所需应用的正确配置设置。用户可以将这些设置手动输入文件，也可以使用图 2-41 中所示的联机序列发生器配置工具。序列发生器配置工具是 ADC-DESIGN-CALC 的一部分，位于 ADS125H18 产品文件夹的设计工具和仿真部分

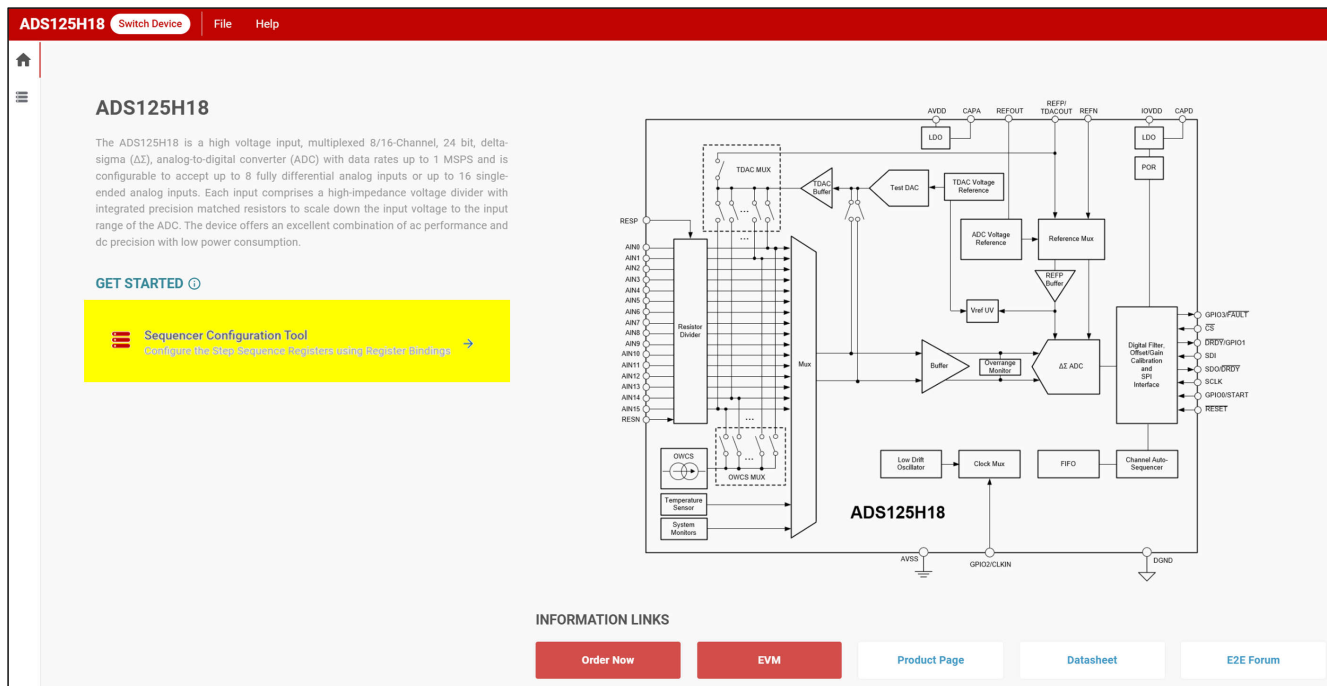


图 2-41. ADS125H18 在线计算器主页

序列发生器配置工具会指导用户选择 ADS125H18 序列发生器设置。图 2-42 显示工具中“配置时钟”页面的示例，该页面允许用户在选择该选项时选择内部或外部振荡器、ADC 速度模式和外部振荡器属性。

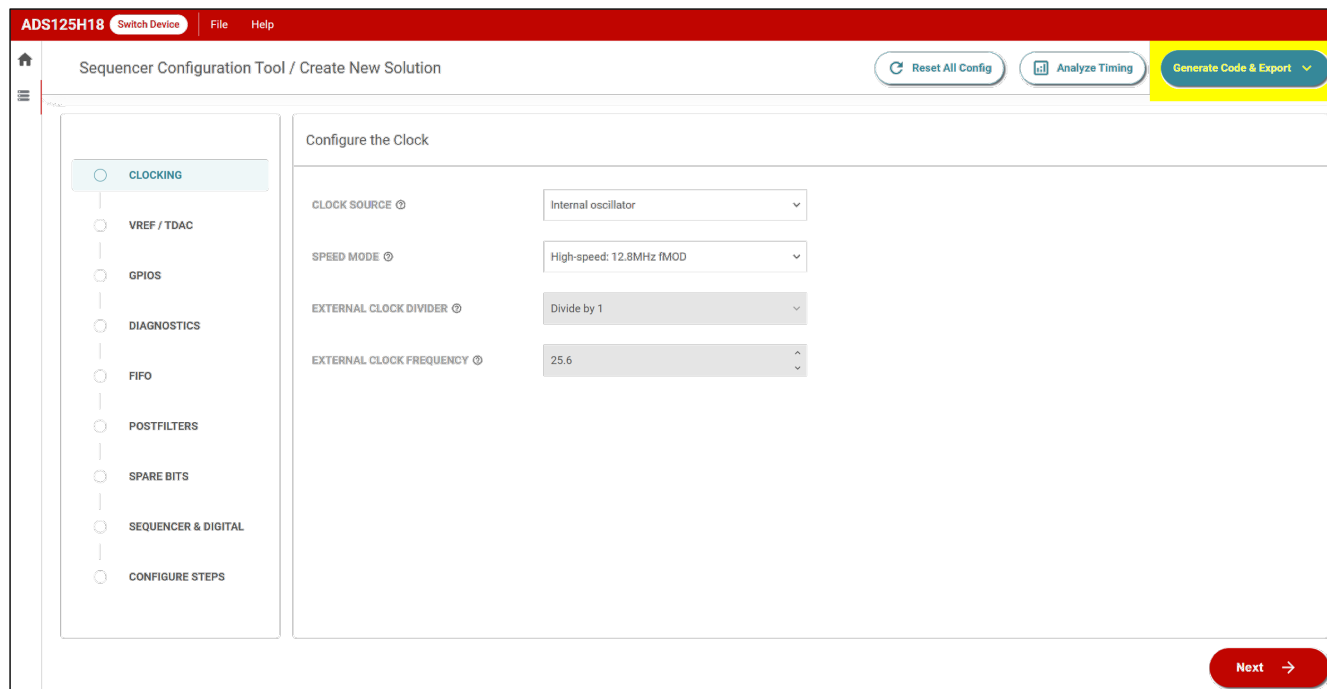


图 2-42. ADS125H18 在线计算器中的序列发生器配置工具

图 2-42 还展示了用户如何使用右上角的“Generate Code & Export”按钮导出所有选定的设置。点击此按钮会为所有寄存器设置或仅为非默认寄存器设置生成头文件。将“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件的内容替换为生成的头文件输出，以初始化序列发生器。

2.4.2.1.2 输入“_step”数组值

用户必须在“input_steps[]”、“monitor_steps[]”和“owcs_steps[]”数组中输入正确的值。输入到这些数组中的值必须与上一部分中编程的步骤相匹配。例如，如果在“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件中将步骤 0、步骤 2 和步骤 4 编程为输入通道步骤，则设置 input_steps[] = {0, 2, 4}。另请记住，实施 OWCS 算法并不严格要求监控步骤，使得 monitor_steps[] 可以是空数组，前提是“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件中没有启用监控步骤。

图 2-43 显示了代码中的这些数组。具体而言，图 2-43 显示如何输入与图 2-34 中所示序列发生器示例相匹配的数组值。

```
// Define step arrays for different measurement types
// Input step#, not page# e.g. for step 0, input "0" even though step 0 is on page 1
// monitor_steps[] can be an empty array. Input_steps[] and owcs_steps[] arrays should be entered exactly as in RegisterDetails.h
uint8_t input_steps[] = {4, 7, 10, 11, 13};
uint8_t monitor_steps[] = {16, 21, 22};
uint8_t owcs_steps[] = {25, 26, 27, 28}; // always use four steps for OWCS -> first pair is for single-ended
                                         // measurements only, first and second pairs are for differential measurements
```

图 2-43. 在 OWCS 代码中定义步骤数组

2.4.2.1.3 分析序列

retrieveStepConfig() 函数分析“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件中的信息，以确定序列属性。具体而言，算法必须识别和存储：

- 每个输入步骤的输入通道 ("input_ain_config[]")
- 每个输入步骤是测量单端输入还是差分输入 ("owcs_config_types[]")
- 所有输入步骤的转换总数 ("input_conversions")
- 所有监控步骤的转换总数 ("monitor_conversions")
- 每个 OWCS 步骤的转换次数 ("owcs_conversions[4]")

每次启动新序列时，该算法都会使用此信息重新配置 OWCS 步骤

2.4.2.2 启动序列发生器并处理数据

OWCS 算法启动 ADC 转换以及使用 processOWCSMeasurements() 函数在设备初始化后收集和处理数据。此函数执行多项操作：

- 写入 OWCS 步骤可更改为下一个输入通道
- 重新计算转换总数
- 启动序列发生器
- 采取适当数量的转换
- 处理 OWCS 步骤数据以返回预测的 R_{SOURCE_OWCS} 值

以下各节将更详细地讨论这些操作：

2.4.2.2.1 更新 OWCS 步长值并计算 “total_conversions”

processOWCSMeasurements() 函数的第一步骤需要将前两个 OWCS 步骤设置为适当的输入通道，并计算该序列的转换次数。图 2-44 显示了两处寄存器写入 - 一次用于第一个 OWCS 步骤 (OWCS 禁用)、另一次用于第二个 OWCS 步骤 (OWCS 启用) - 以及如何在假设 OWCS 在单端输入上运行的情况下计算 “total_conversions” 变量。

```
// Update channels on first and second OWCS steps to next value every time
// add one to "page" because page 0 is the global page so step0 is actually page 1, etc.
writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[0] + 1, 0x00, step_result->input_ain_cfg[ain_index]);
writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[1] + 1, 0x00, step_result->input_ain_cfg[ain_index]);

// calculate the total conversions
// if the input channel is differential then we also need to add the third and fourth OWCS conversions to the total
uint16_t total_conversions = step_result->input_conversions + step_result->monitor_conversions + step_result->owcs_conversions[0] + step_result->owcs_conversions[1];

if (step_result->owcs_config_types[ain_index] == DIFFERENTIAL){
    total_conversions = total_conversions + step_result->owcs_conversions[2] + step_result->owcs_conversions[3];

    // update channels on the third and fourth OWCS channels if DIFFERENTIAL
    // add one to "page" because page 0 is the global page so step0 is actually page 1, etc.
    // add one to "data" because we are only storing the AINP value for a differential measurement
    // for example, if AIN = AIN8-AIN9, we only store AIN8, but we know the other channel must be AIN9
    writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[2] + 1, 0x00, (step_result->input_ain_cfg[ain_index] + 1));
    writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[3] + 1, 0x00, (step_result->input_ain_cfg[ain_index] + 1));
}
```

图 2-44. 在 OWCS 代码中更新 OWCS 步骤值并计算总转换数

图 2-44 还显示了一条 “if” 语句，其中包括两次额外的寄存器写入、一次用于第三个 OWCS 步骤 (禁用 OWCS)、另一次用于第四个 OWCS 步骤 (启用 OWCS)；以及当 OWCS 在差分输入上运行时重新计算 “total_conversions”。请参阅图 2-36，直观地了解需要此行为的原因。

另请注意，OWCS 算法绝不会禁用第三个和第四个 OWCS 步骤；相反，当 OWCS 在单端输入上运行时，该算法根本不存储这些步骤的数据。用户可以更改算法，以便在不使用这些步骤时禁用这些步骤。

2.4.2.2.2 启动序列发生器并获取数据

processOWCSMeasurements() 函数的下一步是启动 ADC 转换，等待数据就绪 ($\overline{DRDY}$) 引脚从高电平切换到低电平，然后将每个数据捕获到一个数组中。图 2-45 显示此函数如何运行，直到例程捕获到等于 “total_conversions” 的转换次数，并将结果存储在 “all_sequences_data” 数组中。

```
/* Collect all ADC data directly into allocated buffer */
if (!collectADCData(total_conversions, all_sequences_data)) {
    free(all_sequences_data);
    return result;
}
```

图 2-45. 启动序列发生器并且在 OWCS 代码中获取数据

重要的是，collectADCData() 函数使用数据捕获中断，该中断假定 $\overline{\text{DRDY}}$ 引脚在每次转换后从高电平切换为低电平。但是，ADS125H18 允许用户使用 SEQUENCER_CFG 寄存器中的 DRDY_CFG 位来设置不同的 $\overline{\text{DRDY}}$ 行为。例如，用户可以将 $\overline{\text{DRDY}}$ 引脚设置为在每个序列完成（而不是每次转换）后从高电平切换为低电平。这些非默认 $\overline{\text{DRDY}}$ 引脚选项旨在搭配 ADS125H18 先入先出 (FIFO) 缓冲器使用。如果在“ADS125H18_RegisterDetails.h”文件中选择了非默认 $\overline{\text{DRDY}}$ 引脚选项，则相应地修改 OWCS 算法。有关更多信息，请参阅 [ADS125H18 数据表](#)。

2.4.2.2.3 处理 OWCS 数据

processOWCSMeasurements() 函数的最后一步是处理 OWCS 数据，以确定阈值 (delta) 并预测 R_{SOURCE_OWCS}。图 2-46 显示最后一步分为三个主要操作：

1. 使用 calculateStepAverage() 计算为每个 OWCS 步骤收集的所有数据的平均值
2. 使用 [方程式 1](#) 计算 OWCS delta
3. 使用 OWCSgetRsource() 函数计算 R_{SOURCE_OWCS}

```
// Update channels on first and second OWCS steps to next value every time
// add one to "page" because page 0 is the global page so step0 is actually page 1, etc.
writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[0] + 1, 0x00, step_result->input_ain_cfg[ain_index]);
writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[1] + 1, 0x00, step_result->input_ain_cfg[ain_index]);

// calculate the total conversions
// if the input channel is differential then we also need to add the third and fourth OWCS conversions to the total
uint16_t total_conversions = step_result->input_conversions + step_result->monitor_conversions + step_result->owcs_conversions[0] + step_result->owcs_conversions[1];

if (step_result->owcs_config_types[ain_index] == DIFFERENTIAL){
    total_conversions = total_conversions + step_result->owcs_conversions[2] + step_result->owcs_conversions[3];

    // update channels on the third and fourth OWCS channels if DIFFERENTIAL
    // add one to "page" because page 0 is the global page so step0 is actually page 1, etc.
    // add one to "data" because we are only storing the AINP value for a differential measurement
    // for example, if AIN = AIN8-AIN9, we only store AIN8, but we know the other channel must be AIN9
    writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[2] + 1, 0x00, (step_result->input_ain_cfg[ain_index] + 1));
    writeSingleRegister(user_steps.owcs_steps[3] + 1, 0x00, (step_result->input_ain_cfg[ain_index] + 1));
}
```

图 2-46. 正在处理 OWCS 代码中的 OWCS 数据

OWCSgetRsource() 函数使用 [方程式 8](#) 的修改版本来根据测得的 OWCS 阈值预测单端 R_{SOURCE_OWCS} 值。[方程式 17](#) 使用固定系数而不是 RB、RA 和 I_{OWCS_NOM} 项，因为这些都是相对于所选 ADS125H18 型号已知的常量（请参阅表 2-1）：

$$R_{SOURCE_OWCS_SE} = \frac{OWCS_{Delta_SE} \times A - B}{C - 2 \times OWCS_{Delta_SE}} \quad (17)$$

图 2-47 显示了 OWCS.h 文件中单端 A、B 和 C 系数作为不同 ADS125H18 型号的函数的查找表：

```
/* Single-ended variables (Rows: A, B, C, MaxRsource) */
static float SingleEnded_variables[4][3] = {
    /* V12      V20      V40 */
    {2625000.0f, 2500000.0f, 2375000.0f}, /* A_SE */
    {421875.0f, 562500.0f, 562500.0f}, /* B_SE */
    {0.375f, 0.5f, 0.5f}, /* C_SE */
    {10e9f, 10e9f, 10e9f} /* MaxRsource */
};
```

图 2-47. OWCS 代码中的单端输入查找表

图 2-47 在查找表中包含 MaxRsource 的值。该参数可避免在 [方程式 17](#) 中 $C = 2 \times OWCS_{Delta_SE}$ 时出现“除零”错误，并将输出限制在 1GΩ。图 2-48 展示了用于根据变量 A、B 和 C 预测 R_{SOURCE_OWCS} 的简单函数，以及与测得的 OWCS 阈值相对应的变量值：

```
/* Retrieve variables for single-ended input calculations */
if (config == SINGLE_ENDED) {
    A = SingleEnded_variables[0][col_idx];
    B = SingleEnded_variables[1][col_idx];
    C = SingleEnded_variables[2][col_idx];
    max_rsource = SingleEnded_variables[3][col_idx];

    /* Check if there is a divider / 0 error such that the input impedance is infinite */
    if (value >= C / 2.0f) {
        return max_rsource;
    }

    // Calculate the rsource value in ohms for single-ended inputs
    // return 0.0f if the result is negative
    float result_se = (value * A - B) / (C - 2 * value);
    return (result_se < 0) ? 0.0f : result_se;
}
```

图 2-48. 预测 OWCS 代码中单端输入的 R_{SOURCE_OWCS}

对于差分输入，同样的逻辑也是如此。方程式 18 使用方程式 14 中 RB、RA 和 I_{OWCS_NOM} 项的固定系数来根据测量的 OWCS 阈值预测差分 R_{SOURCE_OWCS} 值：

$$R_{SOURCE_OWCS_Diff} = \frac{OWCS_{Delta_Diff} \times A - B}{C - 4 \times OWCS_{Delta_Diff}} \quad (18)$$

图 2-49 显示了 OWCS.h 文件中差分 A、B 和 C 系数作为不同 ADS125H18 型号的函数的查找表：

```
/* Differential variables (Rows: A, B, C, MaxRsource) */
static float Differential_variables[4][3] = {
    /* V12      V20      V40 */
    {10500000.0f, 10000000.0f, 9500000.0f}, /* A_Diff */
    {1828125.0f, 2375000.0f, 2312500.0f}, /* B_Diff */
    {0.75f, 1.0f, 1.0f}, /* C_Diff */
    {10e9f, 10e9f, 10e9f} /* MaxRsource */
};
```

图 2-49. OWCS 代码中的差分输入查找表

图 2-49 在查找表中包含 MaxRsource 的值。该参数可避免在方程式 18 中 $C = 4 \times OWCS_{Delta_Diff}$ 时出现“除零”错误，并将输出限制在 1GΩ。图 2-50 展示了用于根据变量 A、B 和 C 预测 R_{SOURCE_OWCS} 的简单函数，以及测得的 OWCS 阈值相对应的变量值：

```
/* Retrieve variables for differential inputs calculations */
} else {
    A = Differential_variables[0][col_idx];
    B = Differential_variables[1][col_idx];
    C = Differential_variables[2][col_idx];
    max_rsource = Differential_variables[3][col_idx];

    /* Check if there is a divider / 0 error such that the input impedance is infinite */
    if (value >= C / 4.0f) {
        return max_rsource;
    }

    // Calculate the rsource value in ohms for differential inputs
    // return 0.0f if the result is negative
    float result_diff = (value * A - B) / (C - 4 * value);
    return (result_diff < 0) ? 0.0f : result_diff;
}
```

图 2-50. 预测 OWCS 代码中差分输入的 R_{SOURCE_OWCS}

2.4.2.2.4 使用 OWCS 结果

OWCS 算法要求用户编写确定如何使用从 ADC 接收到的数据的代码。图 2-51 展示了代码中的 USER TODO 语句

```
/* collect and process the OWCS data */
while (1) {
    OWCSProcessResult OWCS_result = processOWCSMeasurements(step_result, user_steps, ain_index);

    // Reset the ain_index if we have reached the end of the input_ain_cfg array
    ain_index = (ain_index + 1) % user_steps.num_input_steps;

    /* USER TODO: Process rsource values (result->rsource_values[0], result->rsource_values[1]) */
    /* USER TODO: Process delta values (result->delta_values[0], result->delta_values[1]) */
    /* USER TODO: Process raw ADC data (result->all_sequences_data, result->total_samples) */

    free(OWCS_result.all_sequences_data);
}
```

图 2-51. 处理 OWCS 结果的用户说明

例如，某些工业系统可能会在检测到开路后关闭并复位至已知状态。其他系统可能只是记录此信息，以便稍后可以采取操作。由用户决定如何继续。

图 2-51 还显示在 processOWCSMeasurements() 函数完成后，ain_index 变量如何递增至用户设置的输入步骤。一旦算法对 input_ain_cfg[] 数组中的所有元素进行索引，ain_index 变量就会重置，如节 2.4.1 中和图 2-37 之后所述。

3 总结

在现代工业控制系统中检测断线问题是许多设计人员所面临的一项重大挑战。本应用手册描述了 ADS125H18 中开放式电流源 (OWCS) 功能的操作和验证，其为一种 24 位 1MSPS delta-sigma ($\Delta \Sigma$) 模数转换器 (ADC)，设计用于模拟输入模块。该应用手册涵盖的主要主题包括：

1. 分析并验证单端输入的 OWCS 功能性能
2. 分析和验证差分输入的 OWCS 特性的性能
3. 详细介绍了如何用 ADS125H18 通道序列发生器来实现 OWCS 算法
4. ADS125H18 示例代码中 OWCS 算法的简介
5. OWCS 行为在双冗余系统中如何变化

借助本文档中的信息，可使用 ADS125H18 及其独特的开路检测功能设计稳健、可靠的模拟输入模块。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI) , [ADS125H18](#) , ADS125H18 器件的产品页面
2. 德州仪器 (TI) , [ADS125H18EVM-PDK](#) , ADS125H18 评估模块的产品页面

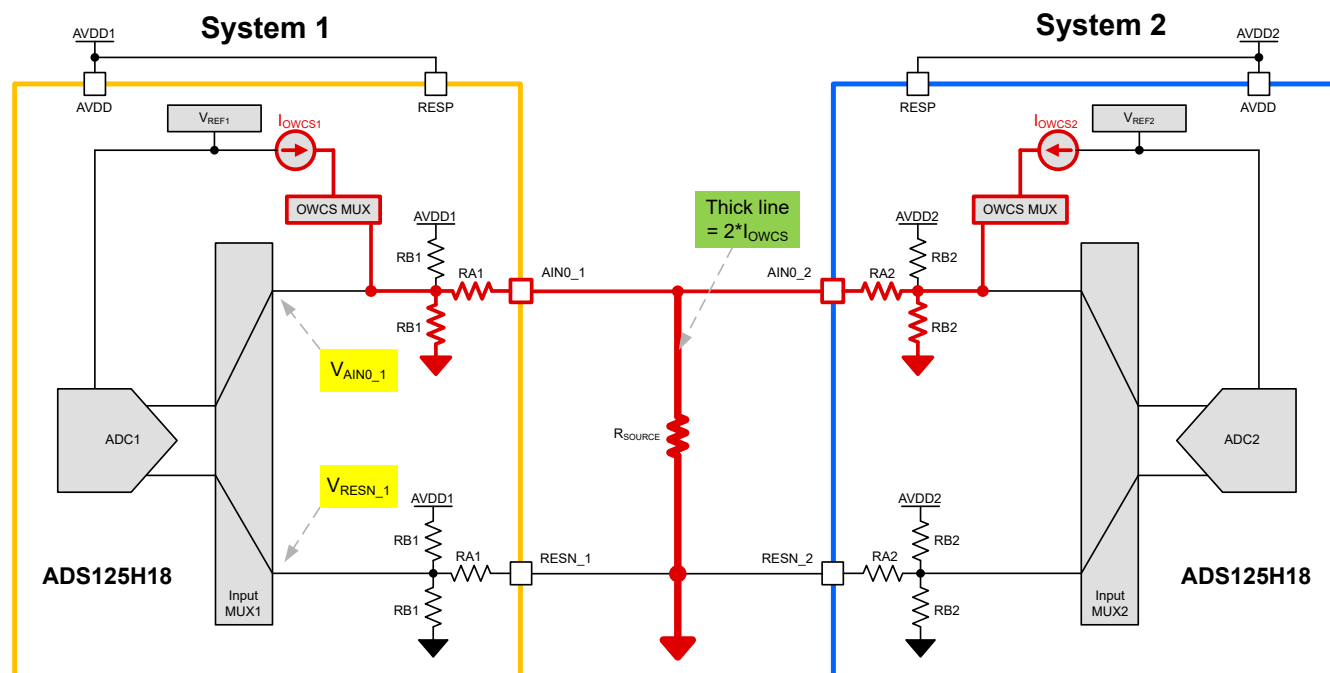


图 5-2. 双冗余系统中的 OWCS 电流路径 (单端输入)

幸运的是，叠加和节点分析也可用于分析图 5-2 中所示的冗余系统。双冗余系统包括五个需要单独分析的电源：系统 1 的两个电压源和一个电流源、系统 2 的一个电压源及一个电流源。用户不需要考虑空闲系统中的 RESN AVDD 源 (2)，因为该源对活动系统 (1) 测量没有影响。但是，本文档放弃了详细分析，因为这项工作只是对本文档中所述原则的扩展。用户可自行详细了解如何推导过程。本附录仅讨论以下主题中的 OWCS 行为：

- 双冗余系统与单设备系统
- 在双冗余系统中使用 1x OWCS 与 2x OWCS
- 双冗余系统中的误差源
- 测量双冗余系统中的差分输入
- 双冗余系统摘要

后续各部分以 ADS125H18 的 V20 型号为例，但这些结果通常适用于所有 ADS125H18 器件型号。

5.1.1 双冗余系统与单设备系统

图 5-3 绘制了标准单个 ADS125H18 系统 (使用图 2-5 中的 1x OWCS) 以及双冗余系统 (使用图 5-2 中的 2x OWCS) 的 $OWCS_{Delta_SE}$ 与 R_{SOURCE} 值 :

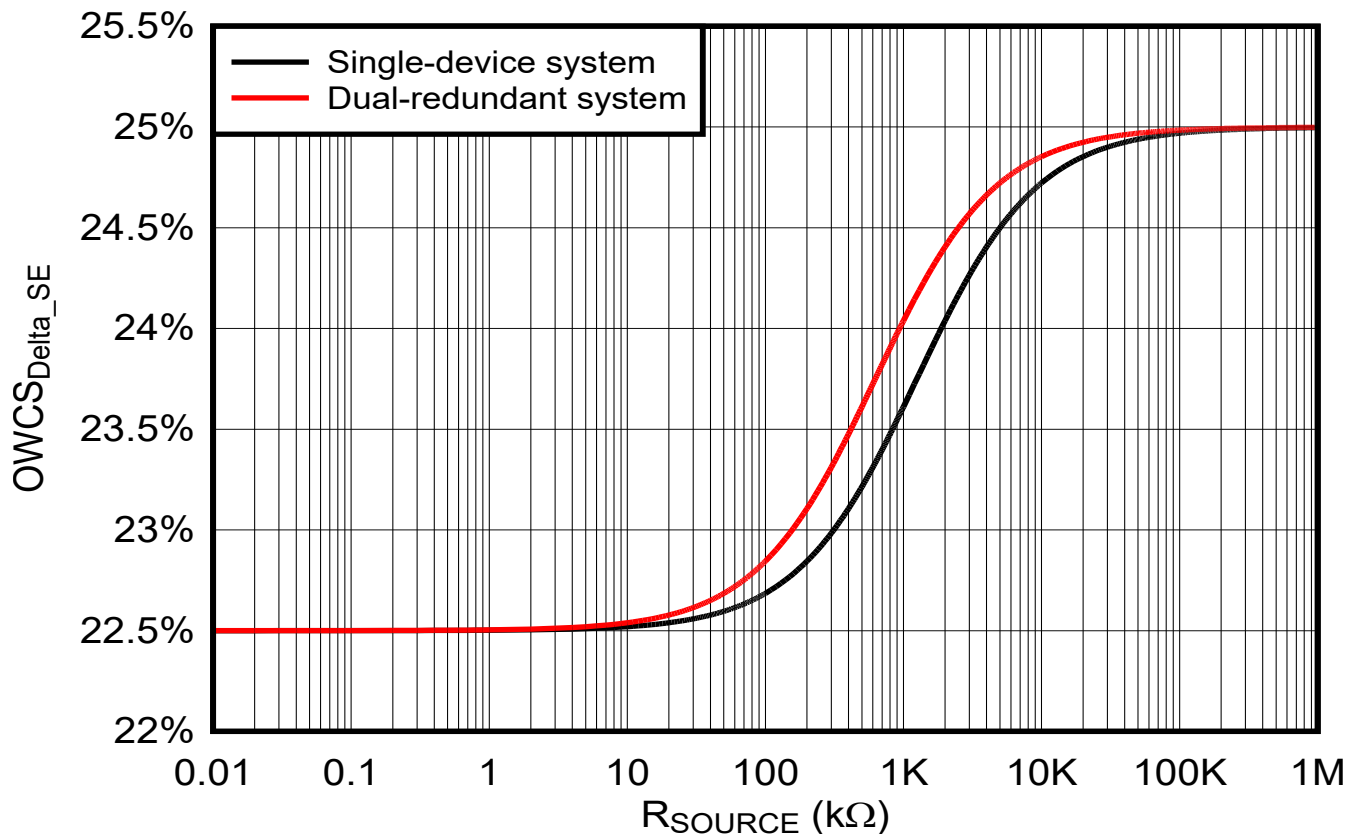


图 5-3. 双冗余系统与单器件系统 (单端输入 , ADS125H18V20) 的 $OWCS_{Delta}$ 行为

最小和最大值与使用具有 1x OWCS 的单个 ADS125H18 的标准实现方案相同。请参阅表 2-3 中的限制。不过, 冗余系统曲线在从 $10k\Omega$ 到 $10M\Omega$ 的 R_{SOURCE} 范围内略微向左移动。此偏移是由系统 2 中 ADS125H18 的额外输入电阻、电流源和电压源造成的。因此, 无法使用方程式 8 来根据在双冗余系统中测量的 $OWCS_{Delta_SE}$ 阈值预测任何任意 R_{SOURCE_OWCS} 值。

5.1.2 在双冗余系统中使用 1x OWCS 与 2x OWCS

图 5-4 演示了为什么用户应在双冗余系统中的两个 ADS125H18 器件中启用 OWCS，而不是仅在活动系统中启用 OWCS。

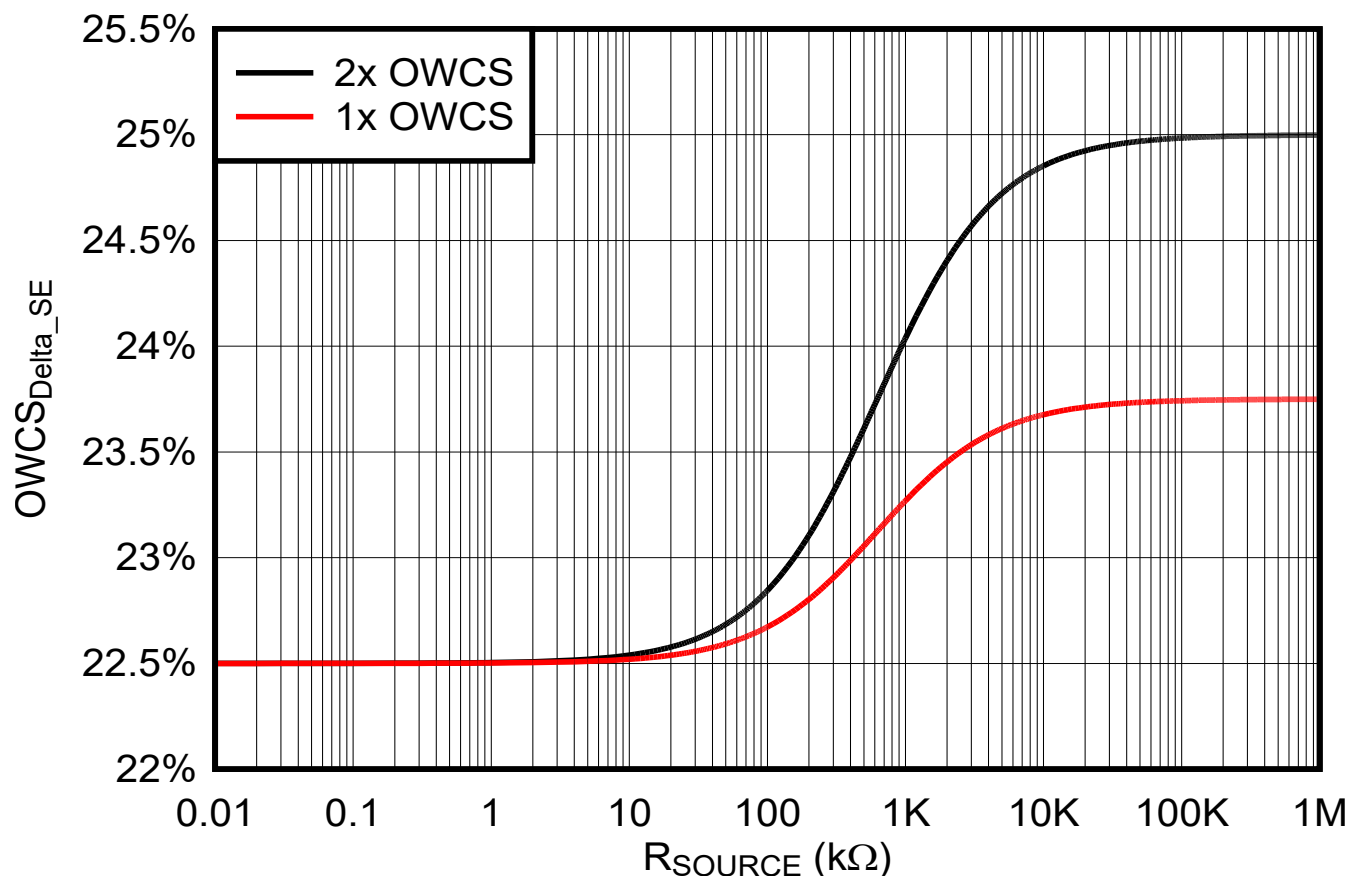


图 5-4. 在双冗余系统 (单端输入, ADS125H18V20) 中使用 1x OWCS 与 2x OWCS 的 OWCS_{Delta} 行为

图 5-4 显示了与在双冗余系统中使用 2x OWCS 相比, 使用 1x OWCS 如何将最大阈值限制减半。表 5-1 总结了在双冗余系统中使用 1x OWCS 与 2x OWCS 的所有 ADS125H18 器件型号的最小和最大 OWCS_{Delta_SE} 值。

表 5-1. 双冗余系统 (单端输入, ADS125H18V20) 中 1x OWCS 与 2x OWCS 的 OWCS_{Delta} 最小值及最大值

型号	1x OWCS			2x OWCS		
	OWCS _{Delta_SE} 最小值	OWCS _{Delta_SE} 最大值	差值	OWCS _{Delta_SE} 最小值	OWCS _{Delta_SE} 最大值	差值
V12	16.07%	17.41%	1.34%	16.07%	18.75%	2.68%
V20	22.50%	23.75%	1.25%	22.50%	25.00%	2.50%
V40	23.68%	24.34%	0.66%	23.68%	25.00%	1.32%

表 5-1 清楚地表明用户应在双冗余系统中的两个 ADS125H18 器件中启用 OWCS，从而更大幅度地扩大 OWCS_{Delta_SE} 范围。

5.1.3 双冗余系统中的误差源

图 5-2 中的冗余响应假定标称条件使得系统 1 中的所有相应元素都与系统 2 相同。例如， $RA1 = RA2$ 、 $RB1 = RB2$ 且 $VREF1 = VREF2$ ，使得 $IOWCS_1 = IOWCS_2$ 。但是，这些元件都具有一定的容差，会影响系统行为。具体来说，输入电阻分压器元件因器件而异，变化范围为 $\pm 15\%$ ，而 $VREF$ 的初始容差为 $\pm 0.1\%$ ，会影响 $OWCS$ 输出。本文档演示了每个元件如何独立影响 $OWCS_{Delta_SE}$ 范围，并假设所有其他元件的标称条件。

5.1.3.1 RA1 和 RB1 错误

图 5-5 绘制了 $\pm 15\%$ RA1 和 RB1 电阻变化对双冗余系统的影响（假设 RA2、RB2、VREF1 和 VREF2 保持其标称值）：

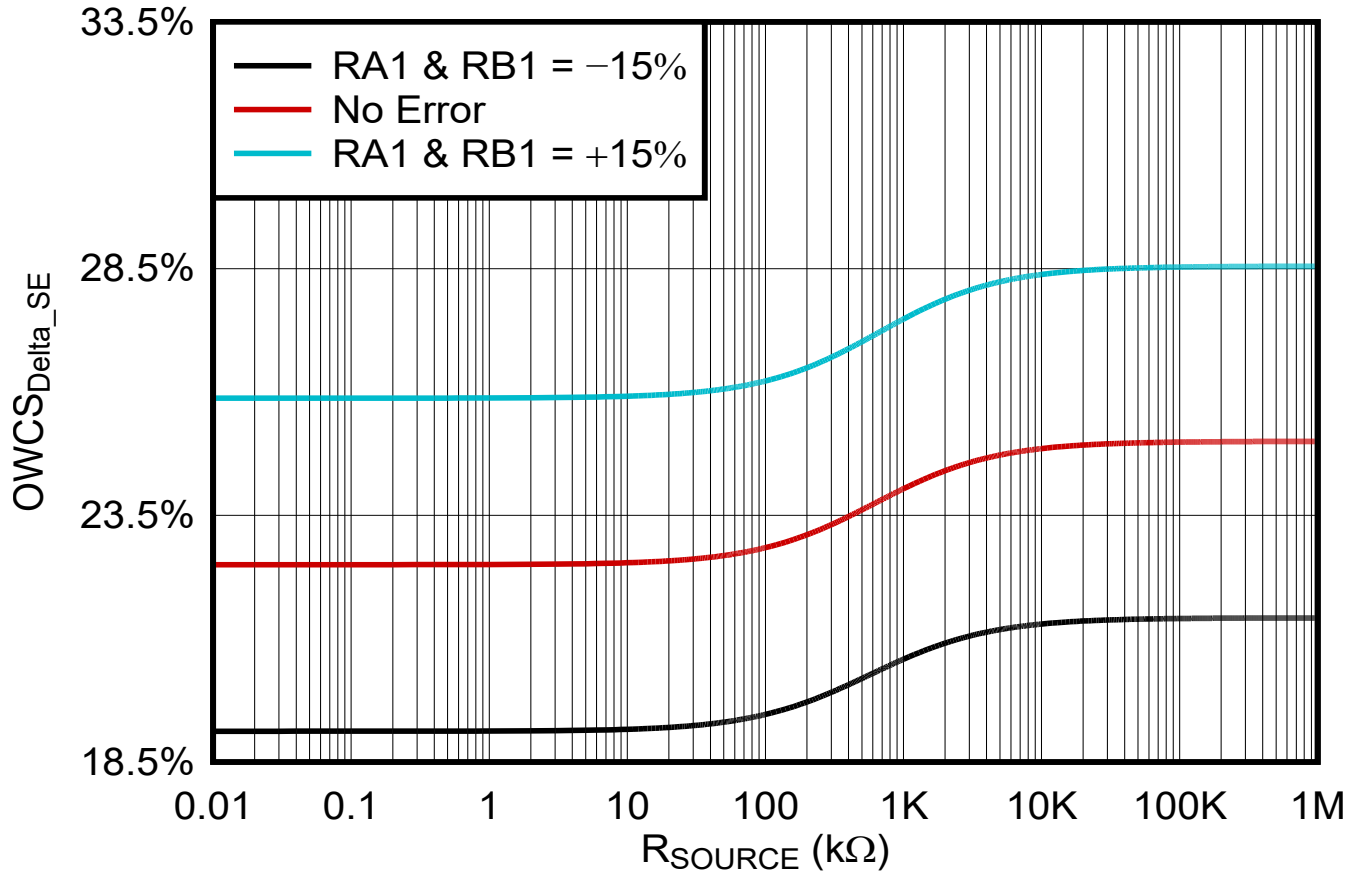


图 5-5. 双端冗余系统（单端输入，ADS125H18V20）中因 RA1 和 RB1 错误导致的 $OWCS_{Delta}$ 行为

图 5-5 示出了正的 RA1 和 RB1 电阻变化导致阈值曲线中的显著正移位（偏移），而负的电阻变化导致显著的负移位。但是，表 5-2 表明即使移位较大，最小和最大 $OWCS_{Delta_SE}$ 值之间仍然只存在很小的差异。换句话说，改变 RA1 和 RB1 电阻会导致 $OWCS_{Delta_SE}$ 值发生较大移位，但 $OWCS_{Delta_SE}$ range 变化可以忽略不计。

表 5-2. 双冗余系统（单端输入，ADS125H18V20）中由于 RA1 和 RB1 误差导致的 $OWCS_{Delta}$ 最小值和最大值

RA1 和 RB1 变化	$OWCS_{Delta_SE}$ (最小值)	$OWCS_{Delta_SE}$ (最大值)	差值
-15%	19.13%	21.42%	2.30%
标称值	22.50%	25.00%	2.50%
+15%	25.88%	28.55%	2.67%

5.1.3.2 RA2 和 RB2 错误

图 5-6 绘制了 $\pm 15\%$ RA2 和 RB2 电阻变化对双冗余系统的影响 (假设 RA1、RB1、VREF1 和 VREF2 保持其标称值) :

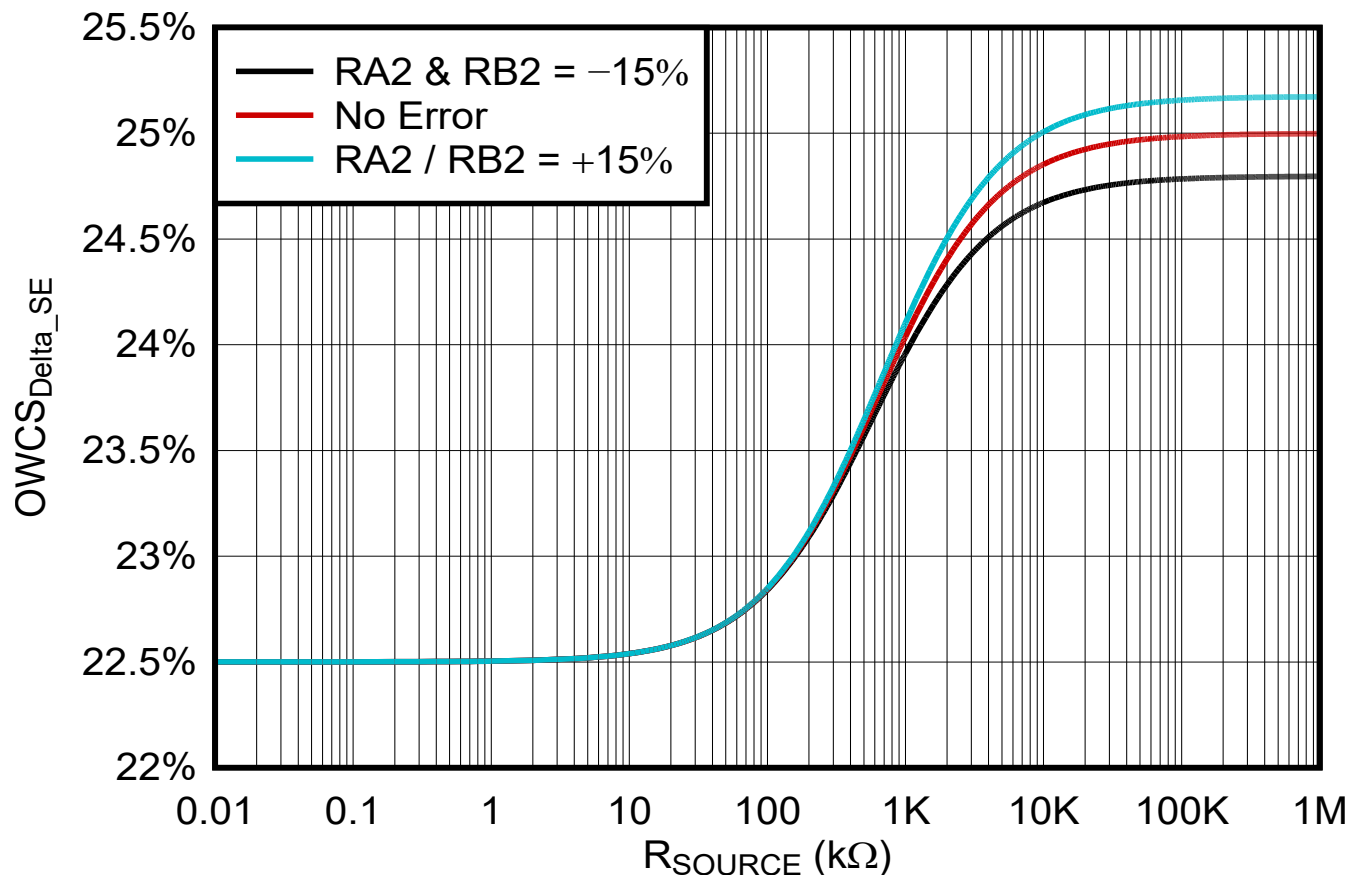


图 5-6. 双端冗余系统 (单端输入 , ADS125H18V20) 中因 RA2 和 RB2 错误导致的 $OWCS_{Delta}$ 行为

图 5-6 显示了仅当 R_{SOURCE} 较大 ($>1M\Omega$) 时, 电阻器 RA2 和 RB2 的变化如何显著影响 $OWCS_{Delta_SE}$ 值。发生这种行为是因为当 R_{SOURCE} 接近 0Ω 时, 图 5-2 中的 AIN0_1 节点短接至地。因此, 在 R_{SOURCE} 足够大之前, AVDD2 和 I_{OWCS2} 源对系统没有影响。表 5-3 提供图 5-6 中的最小和最大 $OWCS_{Delta_SE}$ 值:

表 5-3. 双冗余系统 (单端输入 , ADS125H18V20) 中由于 RA2 和 RB2 误差导致的 $OWCS_{Delta}$ 最小值和最大值

RA2 和 RB2 变化	$OWCS_{Delta_SE}$ (最小值)	$OWCS_{Delta_SE}$ (最大值)	差值
-15%	22.50%	24.80%	2.30%
标称值	22.50%	25.00%	2.50%
+15%	22.50%	25.17%	2.67%

5.1.3.3 VREF1 和 VREF2 错误

图 5-7 绘制了 $\pm 0.1\%$ VREF1 和 VREF2 电压变化对双冗余系统的影响 (假设 RA1、RB1、RA2 和 RB2 保持其标称值)。

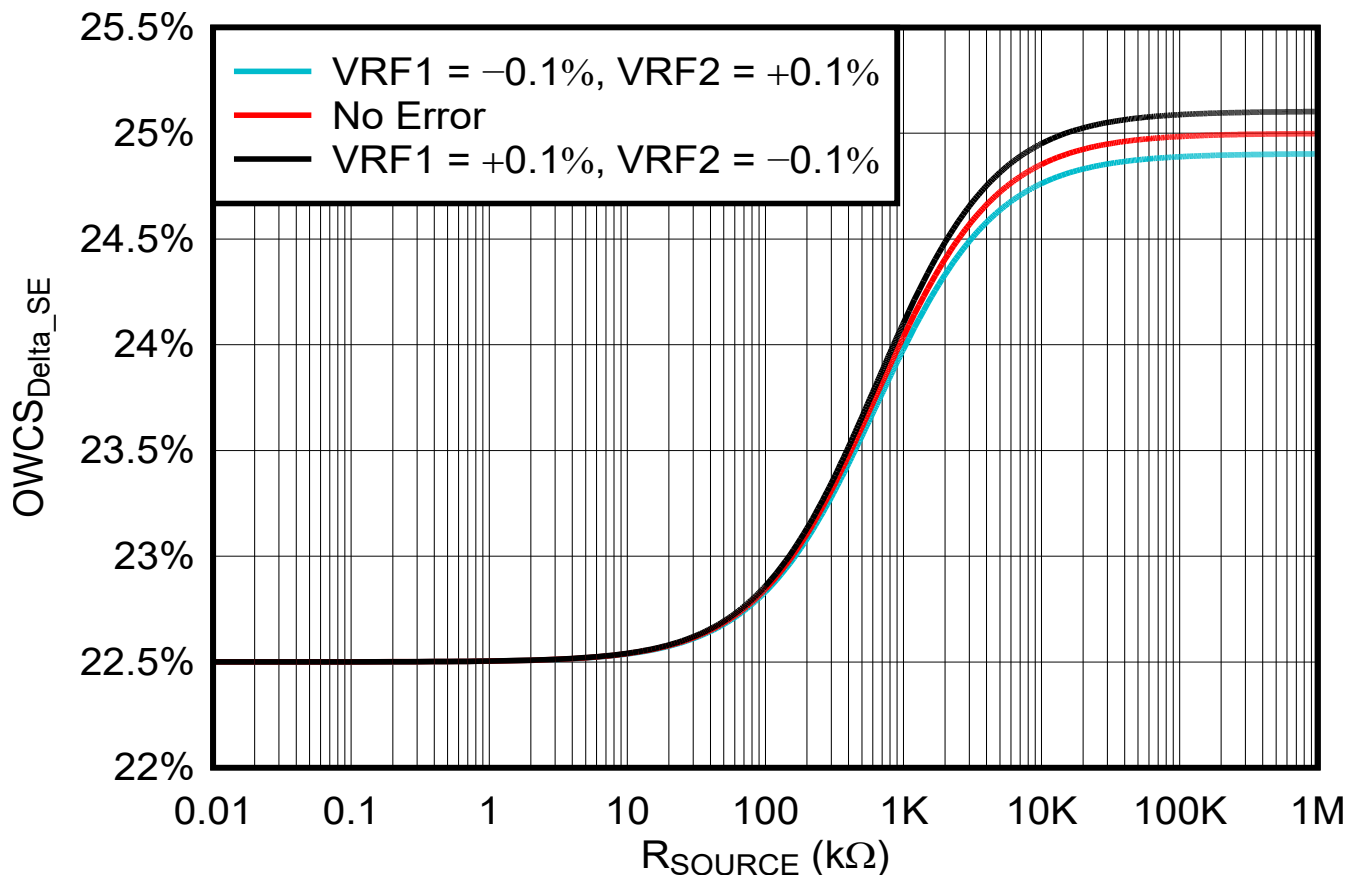


图 5-7. 双冗余系统测量中 VREF 误差导致的 $OWCS_{Delta_SE}$ 行为 (单端输入, ADS125H18V20)

图 5-7 显示了当 R_{SOURCE} 较大 ($>1M\Omega$) 时, 电压 VREF1 和 VREF2 的变化如何显著影响 $OWCS_{Delta_SE}$ 值, 和图 5-6 相似。之所以出现这种行为, 是因为 I_{OWCS1} 电流在 R_{SOURCE} 上实际上是恒定的, 而 I_{OWCS2} 电流源在 AIN0_1 处产生可忽略不计的电压贡献。因此, VREF1 或 VREF2 的微小变化会导致 $OWCS_{Delta_SE}$ 值发生小的变化。表 5-4 提供图 5-7 中的最小和最大 $OWCS_{Delta_SE}$ 值:

表 5-4. 双端冗余系统 (单端输入, ADS125H18V20) 中 VREF 误差导致的 $OWCS_{Delta}$ 最小值和最大值

VREF1 和 VREF2 变化	$OWCS_{Delta_SE}$ (最小值)	$OWCS_{Delta_SE}$ (最大值)	差值
VREF1 = 2.6V, VREF2 = 2.4V	22.50%	24.90%	2.40%
VREF1 = VREF2 = 2.5V	22.50%	25.00%	2.50%
VREF1 = 2.4V, VREF2 = 2.6V	22.50%	25.10%	2.60%

5.1.4 测量双冗余系统中的差分输入

本附录重点介绍了测量单端输入时的双冗余系统行为。但是，图 5-8 显示了这些系统也可以测量差分输入：

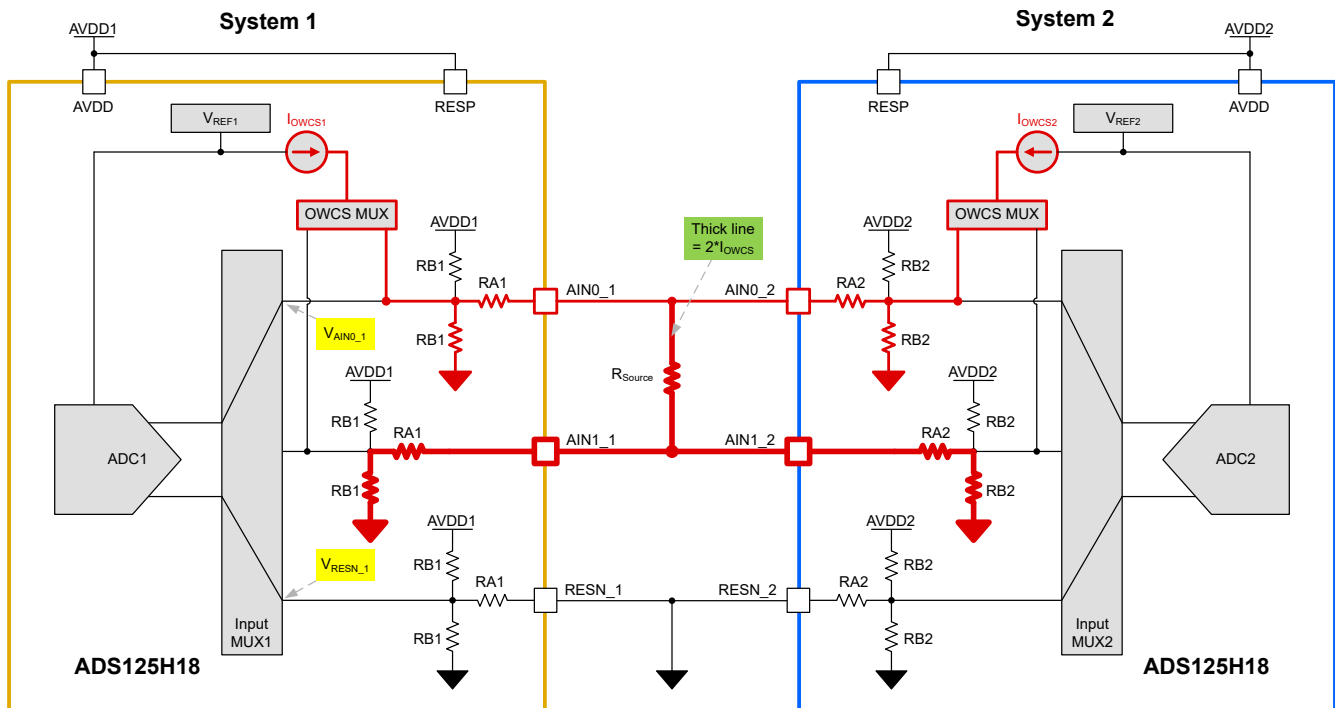


图 5-8. 双冗余系统中的 OWCS 电流路径 (差分输入)

图 5-8 表示用户应与单端输入示例类似地启用两个电流源。电流从每个源流经 ADS125H18 正输入电阻分压器 (AIN0_x)、经过 R_{SOURCE} 、经过负输入电阻分压器 (AIN1_x) 并接地。粗红线表示两个电流源的组合位置，使得流经 R_{SOURCE} 的电流输入电阻分压器为 $2 \cdot I_{OWCS}$ 。

与单端输入相比，测量差分输入的双冗余系统可实现相同的一般行为。因此，本文档中不包含关于差分输入的其他讨论，任何进一步分析由用户进行。

5.1.5 双冗余系统摘要

以下列表总结了有关双冗余系统的重要结论：

- 启用两个 OWCS 可以在双冗余系统中提供最宽的阈值范围。因此，即使一个器件实际未测量输入，也必须为两个器件供电和配置
- 使用具有相同额定电压的 ADS125H18s。例如，将 2x ADS125H18V20 器件用于双冗余系统。混合不同的额定电压会使分析复杂化，并且可能导致阈值范围更窄
- 对所有器件使用相同的基准电压值，以确保 I_{OWCS} 电流幅度尽可能接近。例如，将两个器件的内部基准电压设置为 2.5V。如果可能，为所有 ADS125H18s 使用单个外部电压基准以保持比例式行为
- OWCS 代码分别使用方程式 17 和方程式 18 来根据对单端输入和差分输入测量的 $OWCS_{Delta}$ 预测 R_{SOURCE_OWCS} 值。不过，本部分清楚地表明，在任何情况下，双冗余系统都不会表现出与使用单个 ADS125H18 的系统相同的行为。因此，用户必须修改 OWCS 代码才能用于冗余系统。建议根据特定用例生成 $OWCS_{Delta}$ 查找表 (LUT)，并使用一个函数在 LUT 中搜索相应的 R_{SOURCE_OWCS} 值。同样，此操作由用户完成。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月