

Application Note

ADS125H18 の断線検出電流源 (OWCS) 機能を使用した産業用 PLC システムの断線検出



Bryan Lizon

概要

このアプリケーション ノートでは、産業オートメーション システムにおける断線検出を可能にする ADS125H18 の断線検出電流源 (OWCS) 機能について、包括的に解析しています。このアプリケーション ノートでは、OWCS 機能に関連するいくつかの重要なトピックについて詳しく説明します。これには、シングルエンド入力と差動入力における断線検出の違い、OWCS の理論的な動作、およびさまざまな条件下での実測値を用いた性能検証が含まれます。さらに、このアプリケーション ノートでは、サンプル コードを伴う推奨 OWCS アルゴリズムを示すとともに、デュアル冗長型の産業オートメーション システムで OWCS 機能を使用する場合の関連事項についても説明します。この資料に記載されている情報を使用して、ADS125H18 とその独自の断線検出機能を使用して、堅牢で信頼性の高いアナログ入力モジュールを設計できます。

目次

1 概要.....	2
2 詳細説明.....	3
2.1 ADS125H18 の OWCS 動作の理解.....	3
2.2 複数のシングルエンド入力信号で OWCS を使用.....	4
2.3 差動入力信号で OWCS を使用.....	19
2.4 ADS125H18 チャンネル シーケンサを使用して OWCS アルゴリズムを実装.....	36
3 まとめ.....	49
4 参考資料.....	50
5 付録 A.....	51
5.1 冗長システムでの OWCS の使用.....	51

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

最新の産業用制御システムでは、工場やプラントの監視および制御に、プロセスレベルの電圧 ($\pm 10V$) 信号がよく使用されます。アナログ入力モジュールはこれらの信号を継続的に受信してデジタル信号に変換し、制御システムが迅速かつ正確な判断を行えるようにします。ただし、トランスミッタとアナログ入力モジュールの間の断線などのランダム障害は、この信号伝達を妨げる可能性があります。図 1-1 に、シングルエンド アナログ入力の信号ラインで断線が発生するこのようなシステムの例を示します。

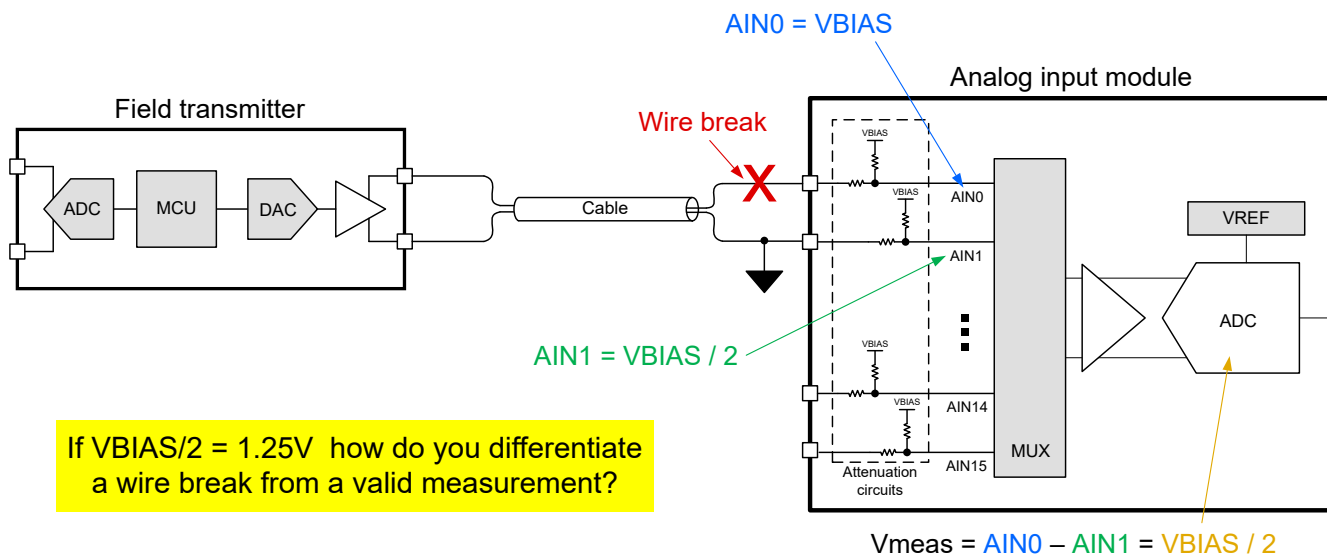


図 1-1. フィールドトランスミッタと PLC アナログ入力モジュールの間のワイヤ ブレーク

図 1-1 は、このシステム例では、断線が発生すると AIN0 入力が VBIAS 電圧にプルされ、AIN1 入力が VBIAS/2 にプルされることを示しています。その後、ADC は $VBIAS/2 = 1.25V$ の電圧差を測定します。この値は、有効な $\pm 10V$ の入力範囲内に十分収まっています。システムは、この故障状態を正規の入力電圧とどのように区別しますか？このシステムがガス・パイプラインの圧力を測定している場合、断線によって監視不能になったり、異常を正常と誤認する偽陰性が発生したりすると、どうなりますか？このような場合、故障や障害を検出することは、システムを既知の安全な状態にし、何か異常が発生したことをオペレータに警告するために重要です。

産業用システムの重要な要件に対応するため、本アプリケーション ノートでは、アナログ入力モジュール向けに設計された高精度 24 ビット、1MSPS のデルタ シグマ ($\Delta\Sigma$) A/D コンバータ (ADC) である ADS125H18 の断線検出電流源 (OWCS) 機能の動作および検証について説明します。このドキュメントでは、次のトピックについて詳しく説明します：

- [ADS125H18 の OWCS 動作の理解](#)
- [複数のシングルエンド入力信号で OWCS を使用](#)
- [差動入力信号で OWCS を使用](#)
- [ADS125H18 チャンネル シーケンサを使用して OWCS アルゴリズムを実装](#)

また、このドキュメントには、二つの ADS125H18 デバイスを使用して同じ入力信号を測定する冗長システムで OWCS の動作がどのように変化するかを説明する付録も含まれています。

2 詳細説明

2.1 ADS125H18 の OWCS 動作の理解

ADS125H18 は、16 個の設定可能なアナログ入力を備えています。各アナログ入力、高精度にマッチングされた抵抗を内蔵した高インピーダンスの分圧回路で構成され、入力電圧を ADC の入力範囲内にスケールします。OWCS 機能は、ADS125H18 の抵抗分圧回路と入力マルチプレクサの間のノードに微小電流を注入することで動作します。ADS125H18 には、マルチプレクサの後にバッファが含まれ、電流は分圧抵抗とソース インピーダンス R_{SOURCE} のみを流れます。OWCS 無効および OWCS 有効とデータを比較することで、ユーザーは R_{SOURCE} に関連するスレッショルド値を計算できます。インピーダンスが大きく変化した場合、断線を示している可能性があります。図 2-1 に、OWCS パスを赤色で強調表示した状態でシングルエンド入力を測定する概略 ADS125H18 ブロック図を示します：

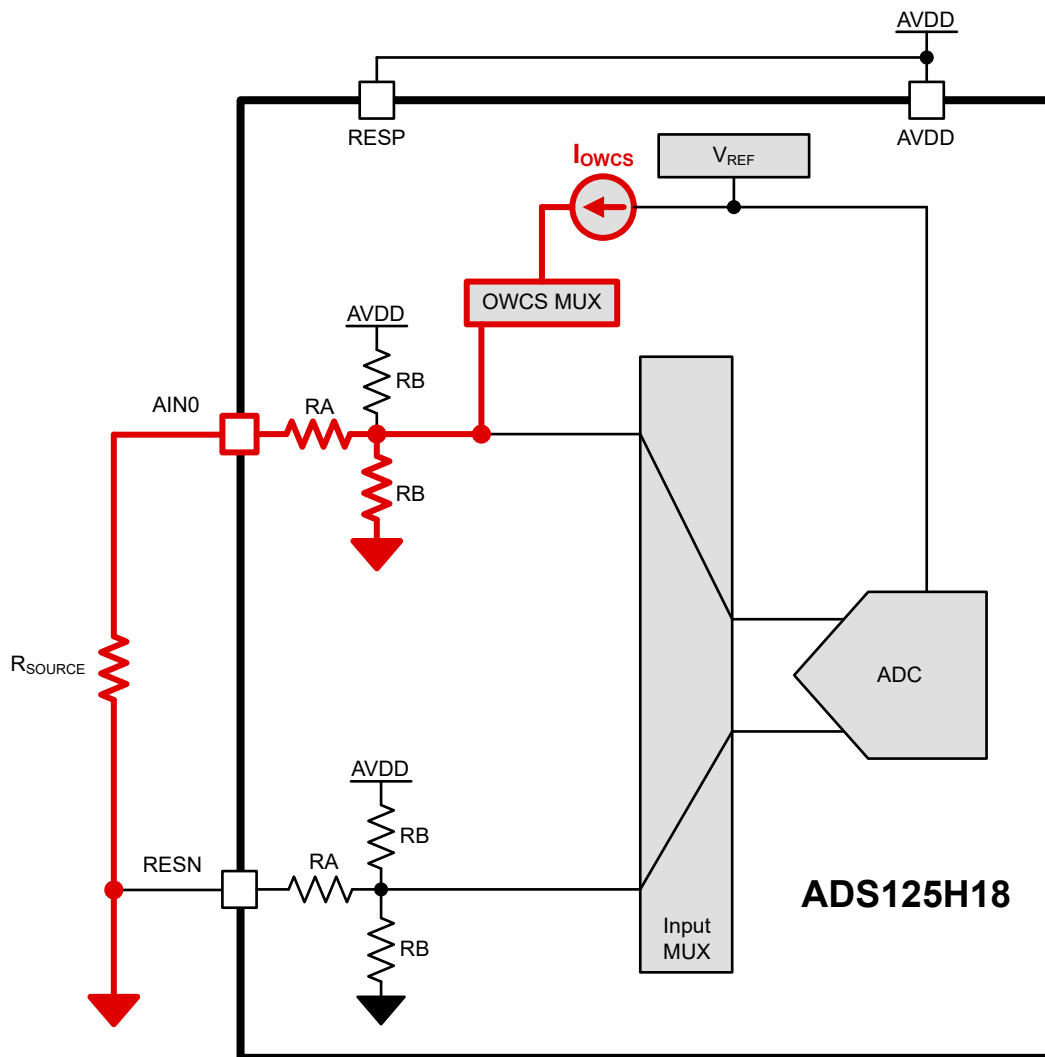


図 2-1. ADS125H18 OWCS 機能をシングルエンド入力で使用方法

以下に、OWCS を使用した断線検出に関する主なポイントを示します：

- 断線を予測するには、ベースライン測定 (OWCS オフ) と検出測定 (OWCS オン) の差 (デルタ) を算出する必要があります。式 1 に、OWCS デルタ計算の一般的な形式を示します：

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

- OWCS 検出方式では、OWCS 無効時と OWCS 有効時の測定間で、入力電圧およびソース インピーダンスが変化しないことを前提としています。検出エラーを避けるため、これらの信号は連続して、できるだけ短時間で測定することを推奨します。
- 差動入力の断線を検出するには、正入力チャネルに対して一回のベースライン測定と一回の検出測定、負入力チャネルに対しても一回のベースライン測定と一回の検出測定を行う、二組のシングルエンド測定が必要です。ただし、差動入力で検出ルーチンを実行すると、理論的には正と負の入力チャネル間で同じ結果が得られる必要があります
- 断線検出デルタは、以下のもので異なります：
 - シングルエンド測定と差動測定
 - ADS125H18 の異なるバージョン (V12、V20、または V40)

表 2-1 に、ADS125H18 バージョンのさまざまな OWCS パラメータを示します：

表 2-1. OWCS の重要なパラメータ

ADS125H18 バージョン	減衰係数	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

図 2-1 は、ADC 電圧リファレンス V_{REF} が OWCS 電流源に電力を供給することを示しています。表 2-1 は、この動作を反映しています。また、OWCS 電流の単位は V_{REF} に対してレシオメトリックになるように、公称 OWCS 電流の単位は $\mu A/V$ であるためです。式 2 は、OWCS 出力電流 I_{OWCS} との関係を表しています：

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

最終的には、リファレンス電圧の値は検出スレッショルドに影響を与えません。これは、ユーザーが内部電圧リファレンスを選択するのか、外部リファレンス電圧を適用するのかにかかわらず存在します。OWCS の動作およびデバイスのレジスタマップの詳細については、[ADS125H18 データシート](#)を参照してください。

2.2 複数のシングルエンド入力信号で OWCS を使用

以下のセクションでは、ADS125H18 シングルエンド入力を印加した場合の OWCS の動作について説明します：

- シングル エンド入力信号に対する OWCS の動作を分析する
- ADS125H18EVM を使用したシングルエンド入力での OWCS 動作の検証

2.2.1 シングル エンド入力信号に対する OWCS の動作を分析する

このセクションでは、ソース インピーダンス R_{SOURCE} を持つシングル エンド入力を ADS125H18 に印加したときの OWCS の動作を分析します。図 2-2 は、OWCS を無効にし、シングル エンドの R_{SOURCE} インピーダンスを使用したシングル エンド入力の解析に用いる回路を示しています：

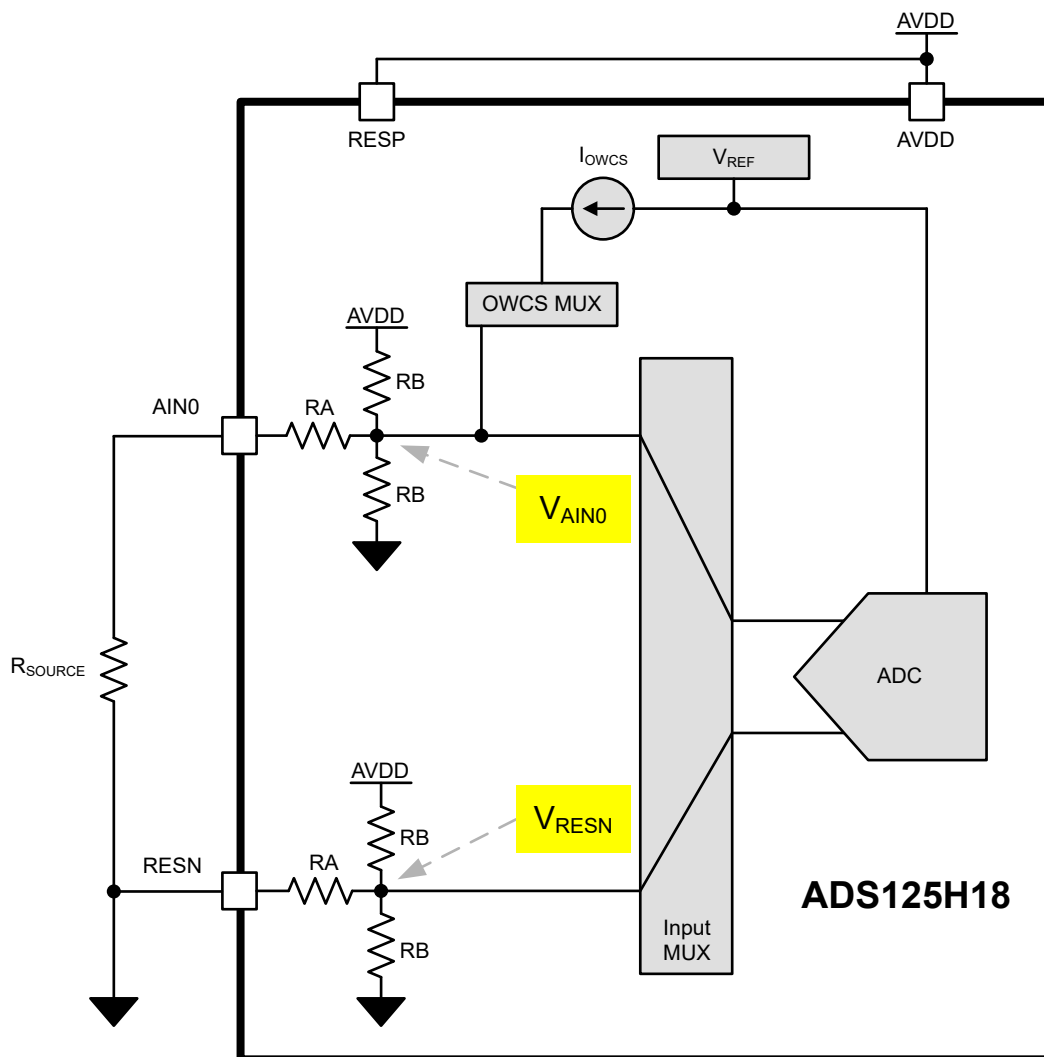


図 2-2. シングル エンド入力信号に対する OWCS の動作を分析する

ADC は図 2-2 に示すノード V_{AIN0} と V_{RESN} 間のシングル エンド電圧差を測定するため、式 1 は式 3 のように展開できます:

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

重ね合わせを使用して、電圧源を短絡したり、電流源を開いたりして回路内の各ソースからの電圧寄与を分析します。例えば、図 2-3 は、OWCS を有効にしたときの $AIN0$ の総電圧 $V(AIN0)_{OWCS_SE}$ を算出するには、三つの異なる重ね合わせ回路構成が必要であることを示しています:

- $V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} = AVDD$ ($AIN0$) 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-3、左)
- $V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE} = AVDD$ ($RESN$) を接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-3、中間)
- $V(AIN0)_{AIN0_OWCS_SE} = I_{OWCS}$ 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-3、右)

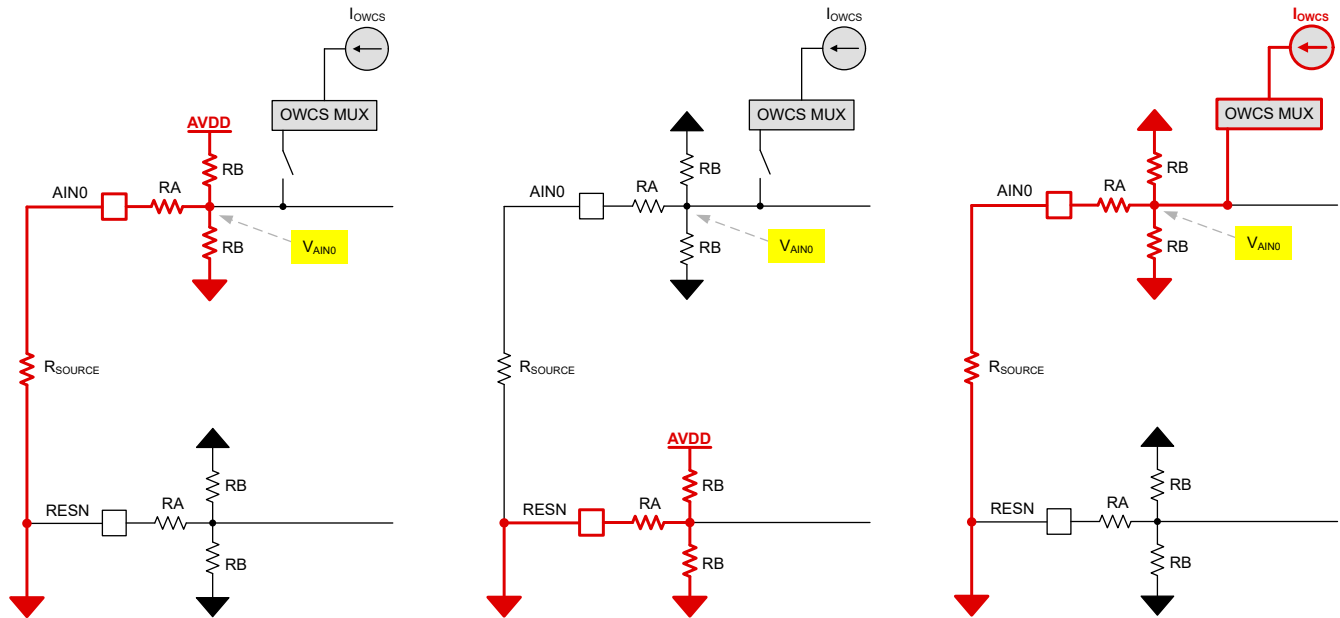


図 2-3. シングル エンド入力の重ね合わせ回路例

表 2-2 に、式 3 のすべての項にこの同じ分析を適用した後の各ノード電圧を示します：

表 2-2. シングル エンド入力のノード電圧

電圧項	ノード電圧
$V(AIN0)_{OWCS_on}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE} + V(AIN0)_{AIN0_OWCS_SE}$ ここで、 $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(AIN0)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(AIN0)_{OWCS_SE} = I_{OWCS}$ を接続、他のすべてのソースを削除
$V(RESN)_{OWCS_on}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_SE} + V(RESN)_{RESN_AVDD_SE} + V(RESN)_{AIN0_OWCS_SE}$ ここで、 $V(RESN)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(RESN)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(RESN)_{OWCS_SE} = I_{OWCS}$ 接続、他のすべてのソースを削除
$V(AIN0)_{OWCS_off}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_SE} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_SE}$ ここで、 $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(AIN0)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除
$V(RESN)_{OWCS_off}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_SE} + V(RESN)_{RESN_AVDD_SE}$ ここで、 $V(RESN)_{AVDD_AIN0_SE} = AVDD (AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 $V(RESN)_{AVDD_RESN_SE} = AVDD (RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除

重要なのは、表 2-2 から、ほぼすべてのノード電圧が同一であることが分かり、その結果、式 3 は式 4 に簡略化できます：

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

図 2-4 は、式 4 の各項に対する重ね合わせ回路構成を示しています：

- $V(AIN0)_{OWCS_SE} = I_{OWCS}$ 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-4、左)
- $V(RESN)_{OWCS_SE} = I_{OWCS}$ 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-4、右)

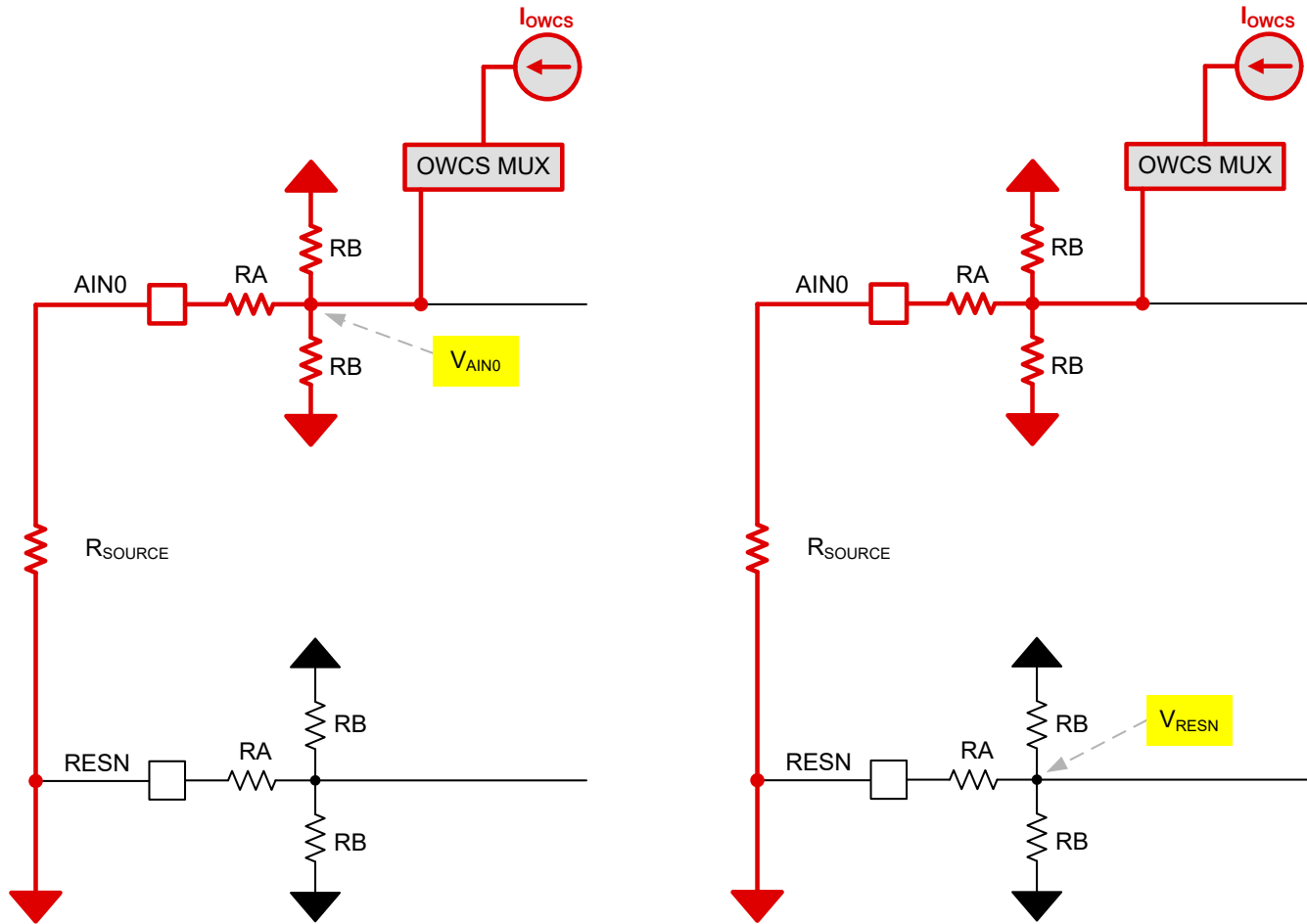


図 2-4. $V(AIN0)_{OWCS_SE}$ および $V(RESN)_{OWCS_SE}$ の重ね合わせネットワーク

図 2-4 は、OWCS を有効にしたときの RESN の電圧 $V(RESN)_{OWCS_SE}$ は、RESN ピンがグランドに接続されているため 0V であることも示しています。したがって、式 4 は式 5 に簡略化され、図 2-4 (左) で表されます:

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

式 6 は、図 2-4 (左) の $V(AIN0)_{OWCS_SE}$ を、抵抗 RA 、 RB 、 R_{SOURCE} 、および電流 I_{OWCS} を用いて書き換えます:

$$\begin{aligned} V(AIN0)_{OWCS_SE} &= I_{OWCS} \times (RB \parallel RB \parallel [RA + R_{SOURCE}]) \\ V(AIN0)_{OWCS_SE} &= I_{OWCS} \times \left(\frac{RB}{2} \parallel [RA + R_{SOURCE}] \right) \end{aligned} \quad (6)$$

式 2 から、実際の OWCS 電流 I_{OWCS} はリファレンス電圧 V_{REF} を基準としていることに注意してください。したがって、式 6 の I_{OWCS} 項は、公称 OWCS 電流 I_{OWCS_NOM} を用いて書き換えることができ、式 7 に示すように簡略化できます:

$$\begin{aligned} OWCS_{Delta_SE} &= \frac{(I_{OWCS_NOM} \times V_{REF}) \times \left(\frac{RB}{2} \parallel [RA + R_{SOURCE}] \right)}{V_{REF}} \\ OWCS_{Delta_SE} &= I_{OWCS_NOM} \times \left(\frac{RB}{2} \parallel [RA + R_{SOURCE}] \right) \end{aligned} \quad (7)$$

式 7 は、測定した $OWCS_{Delta}$ スレッショルドからシングルエンド R_{SOURCE_OWCS} の値を予測できるように、式 8 に示す形へ書き換えることもできます:

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

表 2-1 には、ADS125H18 のすべてのバージョンについて、RB および I_{OWCS_NOM} の値が含まれます。図 2-5 は、表 2-1 から式 7 で取り得るすべてのパラメータを適用し、 R_{SOURCE} を $1k\Omega$ から $1G\Omega$ までスイープして、理想的な $OWCS_{Delta_SE}$ 曲線を生成します：

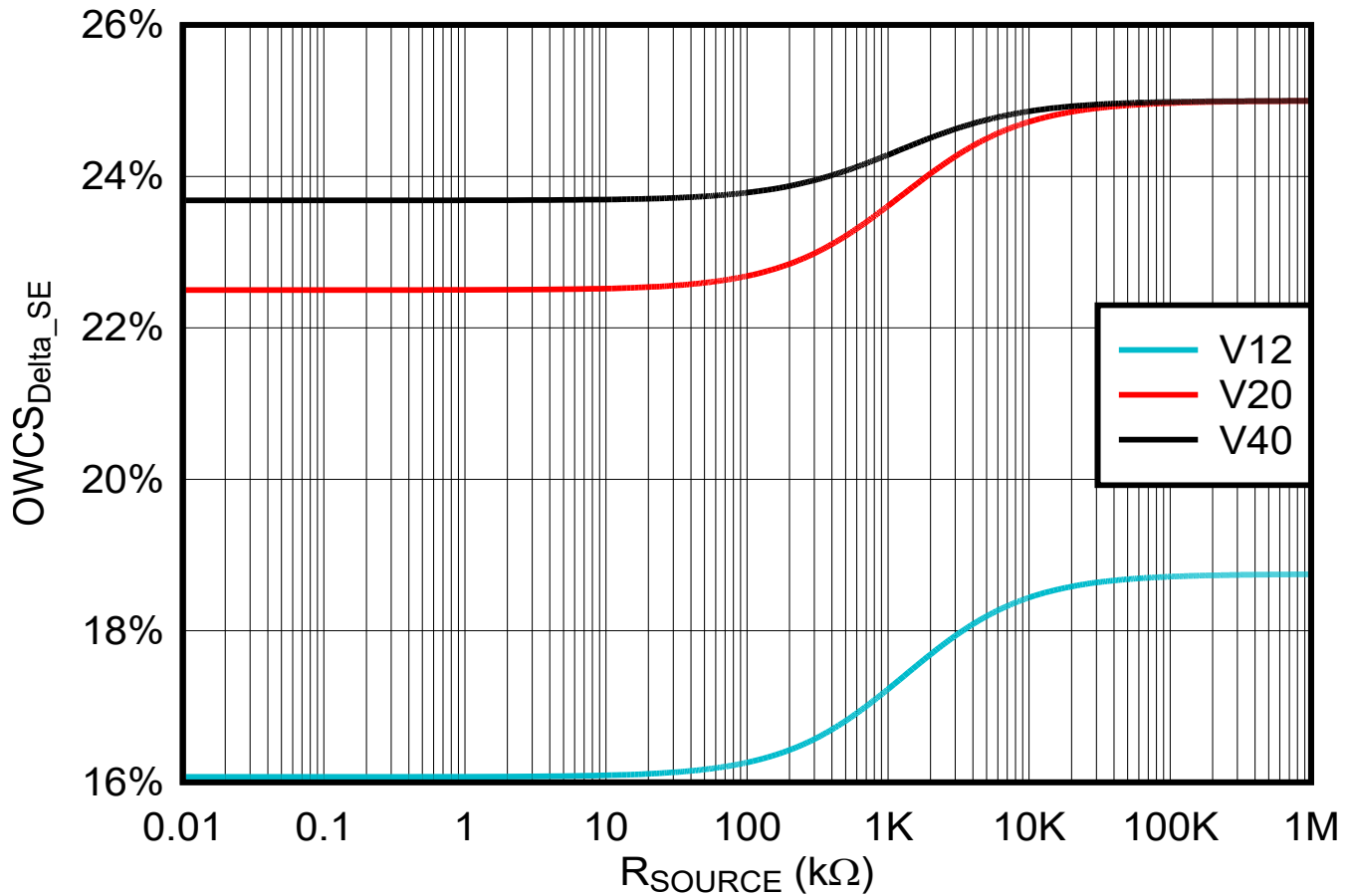


図 2-5. シングル エンド入力測定時のすべての ADS125H18 バリエーションにおける $OWCS_{Delta}$ の動作 ($R_{SOURCE} = 1k\Omega \sim 1G\Omega$)

図 2-5 に、シングル エンド $OWCS$ 測定の二つの重要なポイントを示します：

1. $OWCS_{Delta_SE}$ に大きな変化は、 $100k\Omega$ から $10M\Omega$ までの範囲で発生します。この範囲は、入力インピーダンスの変化が最も検出可能な場所を示します
2. 各 $OWCS_{Delta_SE}$ 曲線は、 $R_{SOURCE} = 0\Omega$ および $R_{SOURCE} = \infty$ において理論上の最小値と最大値を持ちます。減衰係数が大きくなるにつれて最小値と最大値の差が小さくなり、 $OWCS$ 故障を判定するためのマージンが狭くなります。表 2-3 に、これらの結果をまとめます。

表 2-3. シングル エンド入力の最小および最大 $OWCS_{Delta}$ 値

ADS125H18 バージョン	減衰係数	$OWCS_{Delta_SE}$ 最小値	$OWCS_{Delta_SE}$ 最大値	差分
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 ADS125H18EVM を使用したシングルエンド入力での OWCS 動作の検証

ADS125H18 評価基板を使用して OWCS の動作を検証するためテストを実施しました。ADS125H18 評価基板は、ADS125H18 の機能および性能を評価するためのプラットフォームです。ADS125H18EVM-PDK を使用すると、ユニバーサル シリアル バス (USB) インターフェイス経由で接続されたハードウェア、ソフトウェア、コンピュータを使ってデバイスを簡単に評価できます。図 2-6 に ADS125H18 評価基板の回路図を示します。

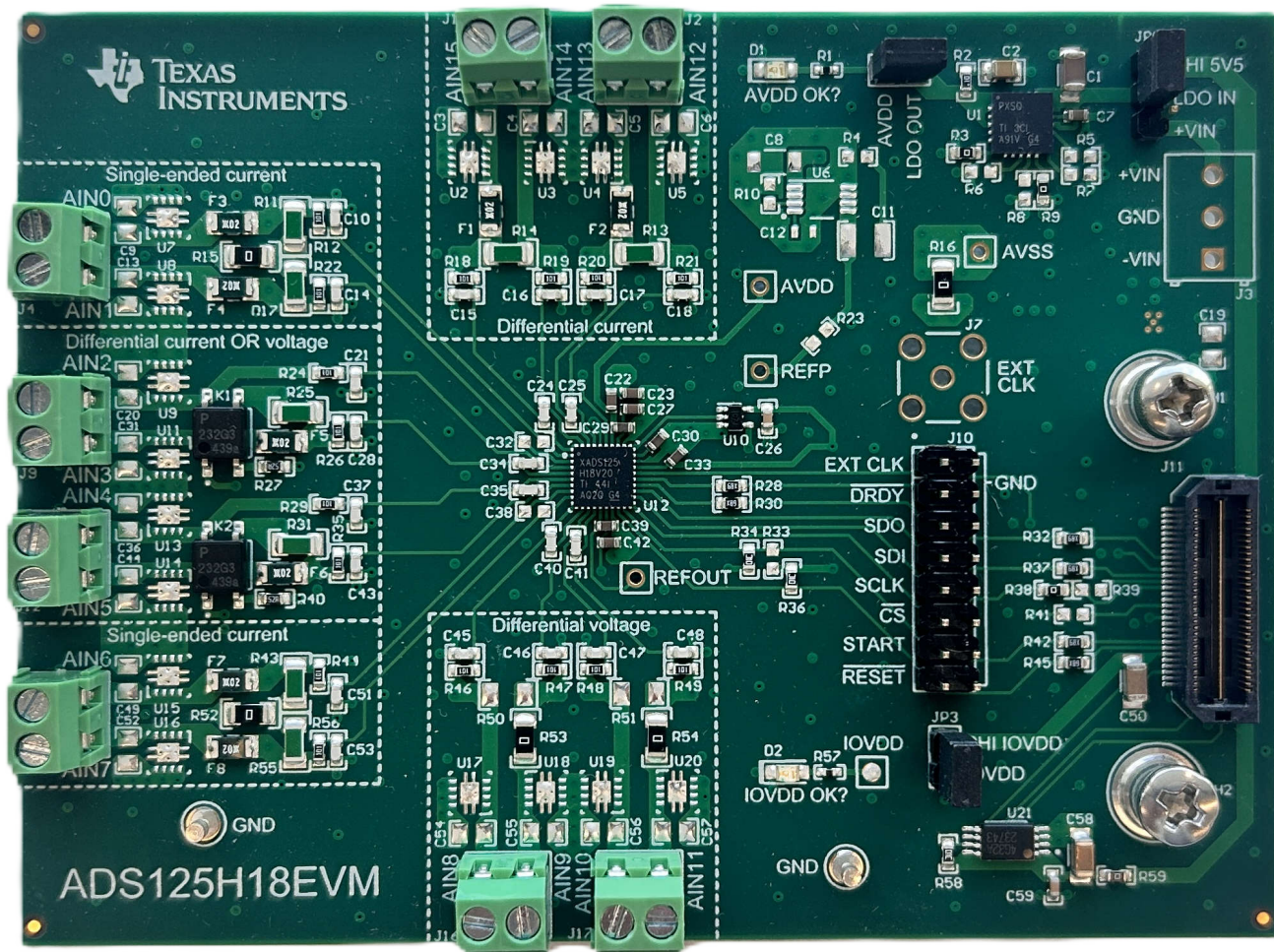


図 2-6. ADS125H18EVM 基板の外観

OWCS の検証には、以下の ADC および評価基板の条件を使用しました：

- ADS12H18V20
- 内部 25.6MHz 発振器
- 速度モード 3 ($f_{MOD} = 12.8\text{MHz}$)
- 内部 2.5V リファレンス電圧
- シングルショット シーケンス モード
- 二つの有効なステップ (同じ入力チャネル):
 - ステップ 1 = OWCS は無効です
 - ステップ 2 = OWCS は有効です
- 三つの出力データレート (ODR):
 - 1.6kSPS (sinc4 + sinc1 filter、OSR = 8000)
 - 12.5kSPS (sinc4 filter、OSR = 1024)
 - 50kSPS (sinc4 + sinc1 filter、OSR = 256)
- 各 OWCS ステップあたり 512 回の変換 (発生する可能性のあるセトリング動作を捉える)
- 外付け受動部品 (R または C) は不要

2.2.2.1 シングルエンド入力による OWCS の動作の確認

図 2-7 に、ADS125H18 評価基板のシングルエンド入力を使用した簡単な OWCS 検証設定を示します。端子台と ADC 入力ピンの間には、受動部品は実装されていません。評価基板の端子台とグランドの間には、各種 0.1% の R_{SOURCE} 抵抗を接続し、幅広い入力インピーダンスにわたって性能を検証しました。この構成では、ADC に $0V$ の入力信号が供給されるため、分析が簡素化されます。

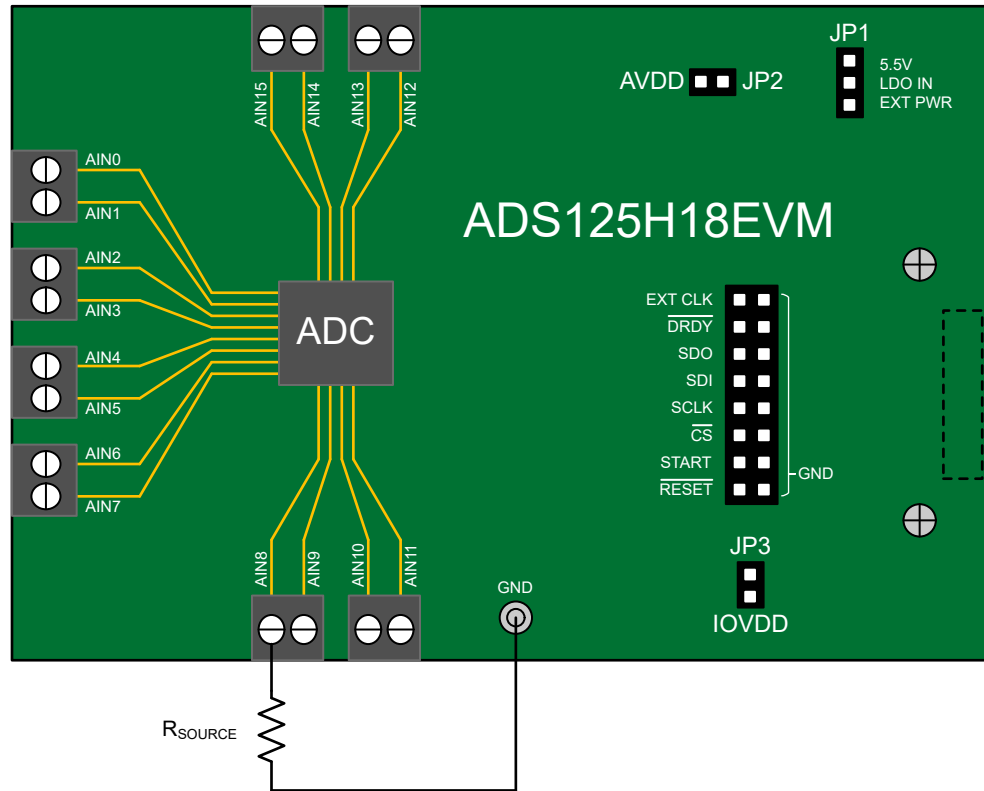


図 2-7. シングルエンド入力用の OWCS 検証の設定

続 OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換することで入力を測定しました。次に、式 1 を使用して $OWCS_{Delta_SE}$ の値を算出し、式 7 の各項を整理し直すことで、予測される

R_{SOURCE_OWCS} の値に変換しました。表 2-4 に、3 つの異なる ODR および 6 つの異なる R_{SOURCE} 値での測定および平均化結果を示します：

表 2-4. 異なる ODR および R_{SOURCE} 入力における $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} 値 (シングルエンド入力)

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
∞ (オープン)	25.01%	>1G	25.01%	>1G	25.00%	>1G

表 2-4 は、ほとんどすべての R_{SOURCE} 値について、異なる ODR の間に印加されるシングルエンドソース インピーダンスを OWCS が正しく決定したことを示しています。ただし、表 2-4 では、予測される R_{SOURCE_OWCS} 値と実際の R_{SOURCE} 値との間のおおよそ $10k\Omega$ オフセットも示されています。幸い、k Ω 単位では一見大きく見えるこの誤差も、入力コードの平均変動に換算するとわずか 0.05% であり、ADS125H18 の抵抗分圧回路のマッチングに起因すると考えられます。最

最終的に、OWCS 故障検出は意図したとおりに動作し、開回路だけでなく、ソース インピーダンスの大きな変化も正確に検出できました。

2.2.2.2 シングルエンド入力で OWCS に使用する変換回数の削減

表 2-4 は、OWCS 無効時の 512 サンプルと OWCS 有効時の 512 サンプルを使用して算出した $OWCS_{Delta_SE}$ の平均値を示しています。セクション 2.2.2.1 では、発生する可能性のあるセトリング動作を捉えるため、各シーケンス ステップで 512 回の変換を使用したとしています。ただし、一本の断線を検出するために合計 1024 回の変換を行うと、多くの産業用システムでは非現実的なほど長い時間を要する可能性があります。たとえば、1.6kSPS で 1024 変換には約 640ms が必要です。サンプリングしたデータ ポイントを解析することで、正確な故障検出に実際に必要な変換回数を把握できます。

図 2-8 は、表 2-4 に示す 512 回の変換結果を平均した単一の値ではなく、 $OWCS_{Delta_SE}$ の値をポイントごとにプロットしています。図 2-8 は、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ と 3 つの異なる ODR 値を使用します: 1.6kSPS、12.5kSPS、50kSPS

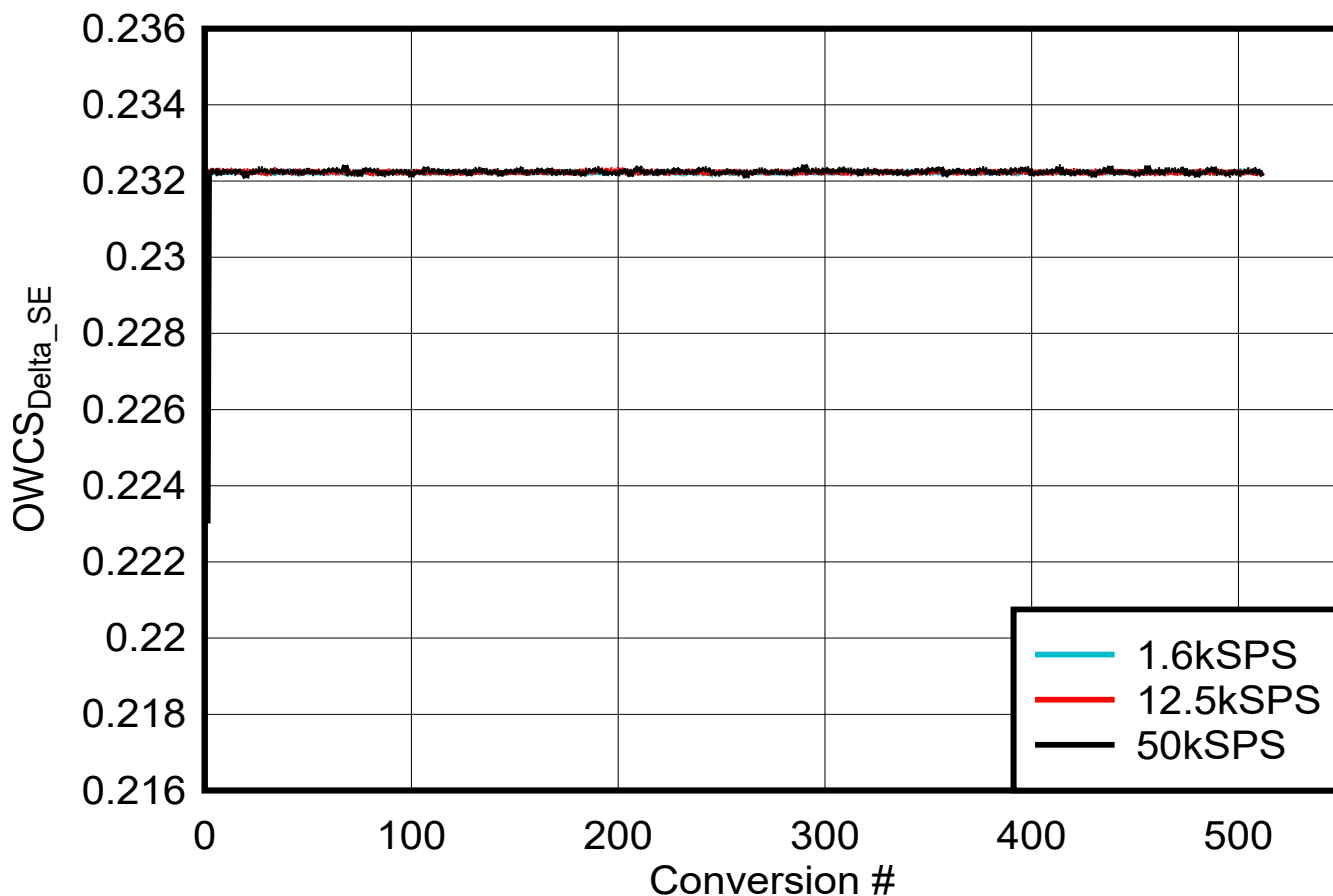


図 2-8. $OWCS_{Delta_SE}$ の測定値をポイント単位でプロットし、セトリング動作を示します (シングルエンド入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

図 2-8 は、データ内に何らかのセトリング動作が存在するが、それ以外は不安定な異常のために有用な情報がほとんどないことを示しています。このデータを未セトリング成分とセトリング後の成分に分けることで、故障検出エラーが発生する理由をより明確にできます。また、この動作は $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ で示されますが、 R_{SOURCE} のすべての値に存在していることに注意してください。

2.2.2.2.1 シングルエンド入力のセトリング前データ

表 2-5 には、3 つの異なる ODR で測定された $OWCS_{Delta_SE}$ と、3 つの異なる ODR で最初の変換データのみから計算された予測された R_{SOURCE_OWCS} 値が含まれます。

表 2-5. 最初の変換データ ポイントのみを使用した $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} 値 (シングルエンド入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

ODR	最初の変換のみ	
	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)
1.6kSPS	23.22%	509.01
12.5kSPS	23.23%	513.03
50kSPS	21.73%	0 (short)

表 2-5 に示す重要なことは、ODR = 50kSPS での未セリング データが、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ ではなく短絡であることを示していることです。これらの条件下で一回の変換結果のみを使用して断線を判定すると、偽陰性となる可能性があります。比較的、他の二つの ODR 設定は R_{SOURCE} の値を正しく予測することができます。これらを総合すると、データレートが高い場合、OWCS の計算結果が不正確になる可能性があることが分かります。ユーザーは、OWCS データレートとシステムの変換数の両方を選択するときに、この可能性を考慮する必要があります。

2.2.2.2.2 シングルエンド入力のセリング後データ

図 2-9 には、図 2-8 と同じデータが表示されていますが、すべての ODR について最初の変換が削除されました。言い換えると、図 2-9 は、たくさんの変換に対して平均化された単一の値ではなく、変換 2 から 512 ポイント単位までのポイント単位でプロットします。

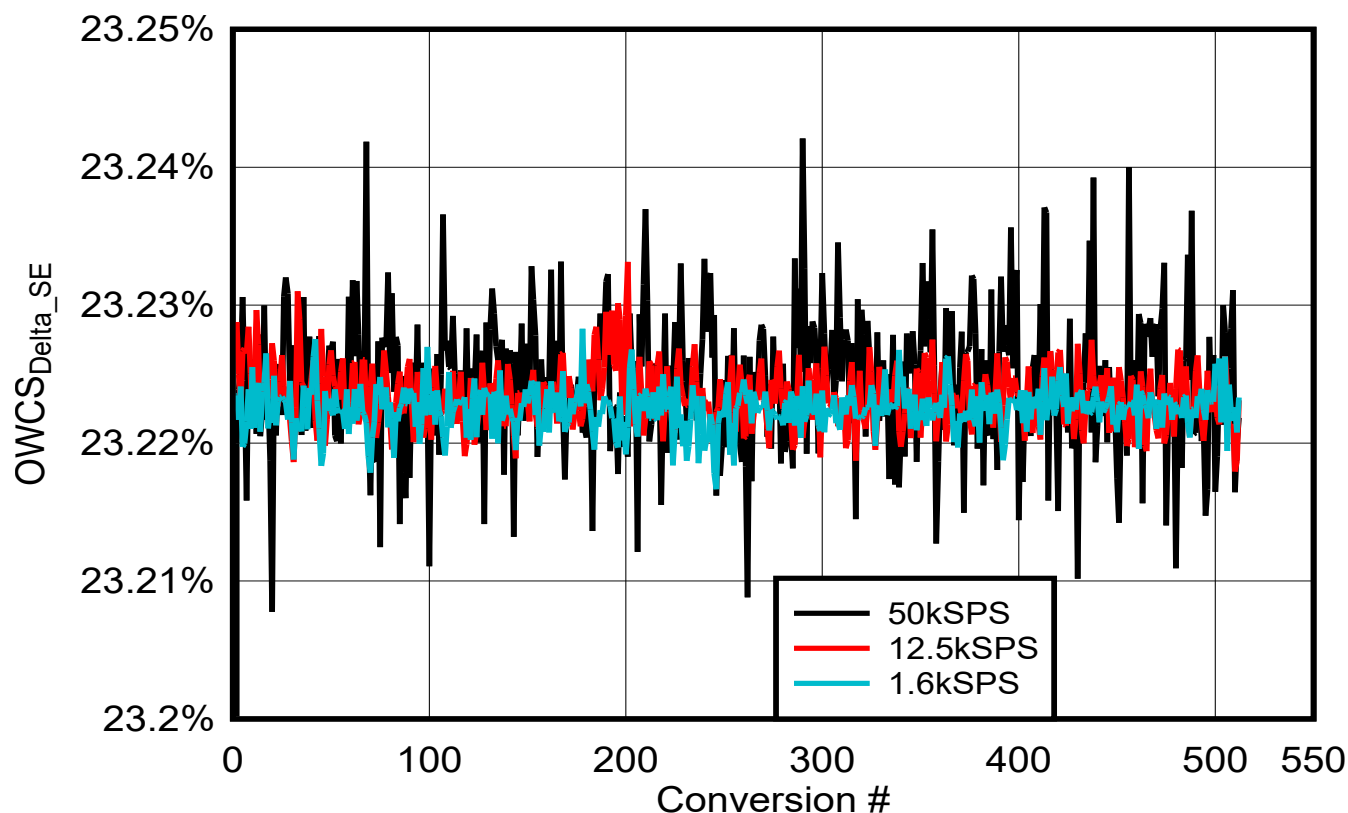


図 2-9. ODR 全体にわたる $OWCS_{Delta_SE}$ の測定値 (最初の 1 回の変換を除外) のポイントごとのプロット (シングルエンド入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

図 2-9 に、OWCS 計算に求められる動作を示します。 $OWCS_{Delta_SE}$ 値は一般に、ガウス分布 (広帯域) ノイズを持ちます。さらに、ODR が小さくなると、ADC デジタル フィルタの帯域幅も減少するため、ノイズ分布は厳格になります。これらどちらの要因も、熱ノイズが支配的になっている標準的な ADC データを示しており、セリング効果はありません。これにより、あらゆる変換に対して R_{SOURCE_OWCS} を正しく予測できます。

表 2-6 は、図 2-9 の $OWCS_{Delta_SE}$ 値の分布を解析し、予測される R_{SOURCE_OWCS} の最小値と最大値のバラツキを求めます：

表 2-6. $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} のバラツキ (シングルエンド入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$) **

ODR	最小 **		最大 **		差 (最大 - 最小) ($k\Omega$)
	$OWCS_{Delta_SE}$	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

** 最初のサンプルを除く

表 2-6 は、最小の ODR (1.6kSPS) で最小と最大の差が小さく、ODR の増加に伴って増加することを示しています。ただし、最小値と最大値は、どの場合でも $500k\Omega$ の R_{SOURCE} インピーダンスを正しく近似するものです。したがって、これらの条件では、変換回数を大幅に少なく (< 512) しても、信頼性を損なうことなく、より高速な断線検出が可能であったと結論付けられます。

2.2.2.3 シングルエンド入力における入力容量が OWCS 性能に与える影響

セクション 2.2.2 に、標準的な ADS125H18 評価基板を使用し、端子台と ADC 入力ピンの間に受動部品を取り付けずに OWCS 性能を示します。ただし、多くの産業用システムでは、ノイズ除去などを目的として入力部にコンデンサが配置されています。図 2-10 は、AIN8 と AIN9 のアナログ入力間に赤色で示す差動コンデンサを配置し、さらに各入力とグランド間に青色で示すコモン モード (シングル エンド) コンデンサを配置したシステムの例を示しています。ADS125H18 評価基板には、デフォルトでは実装されていないこれらの部品用のフットプリントが含まれています。

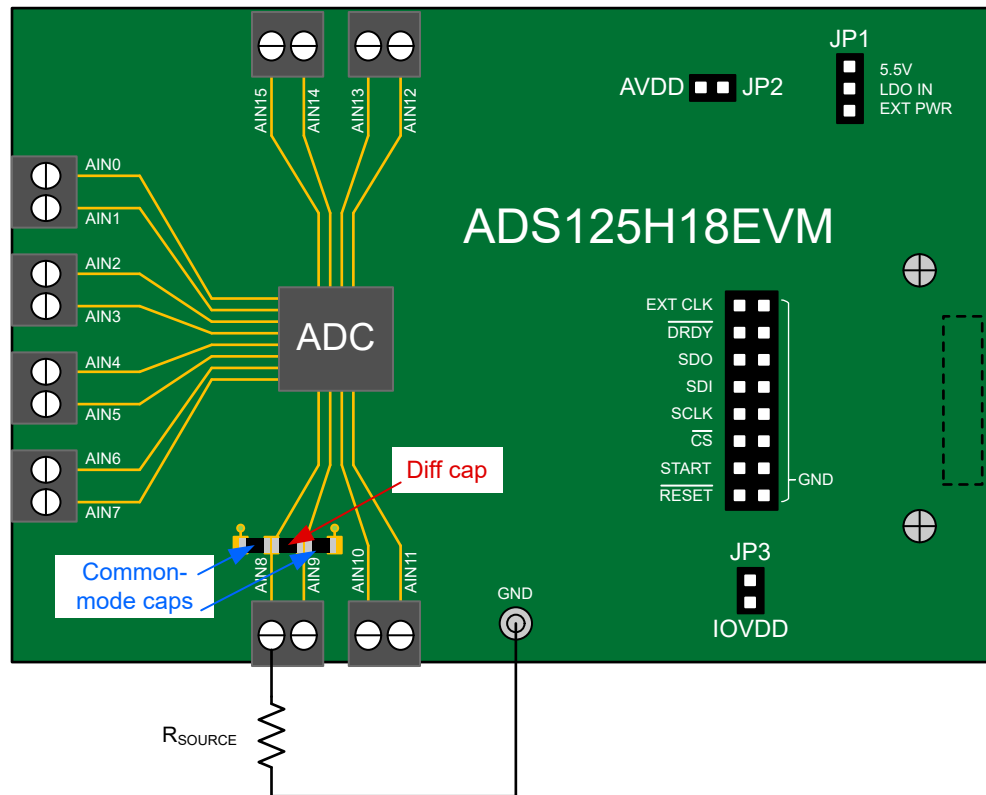


図 2-10. 入力容量を使用した ADS125H18EVM のシングル エンド入力の測定

アナログ入力に容量を追加すると、コンデンサの充電に起因するセトリング タイムが長くなりますが、ノイズを低減できます。この動作は、電流源 (OWCS) がオンになったときの測定値に影響を及ぼします。コンデンサは、必要な電圧まで瞬時に充電できないからです。この影響は、コンデンサが瞬時に放電できないため、OWCS をオフにしたときにも測定可能です。

入力容量が OWCS 検出動作にどのように影響するかを測定するため、ADS125H18 評価基板には複数のコンデンサが取り付けられています。それ以外の場合は、セクション 2.2.2 の最初に記載されている設定と同じ設定が使用されています。

す。続いて、OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換することで入力を測定しました。次に、式 1 を使用して $OWCS_{Delta_SE}$ の値を算出し、式 7 の各項を整理し直すことで、予測される R_{SOURCE_OWCS} の値に変換しました。表 2-7 に、3 つの異なる ODR と 4 種類の入力容量値にわたって $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ の場合の測定、平均化の結果を示します：

表 2-7. 異なる ODR および入力容量における $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} (シングル エンド入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$)

入力容量 (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 は、 $OWCS_{Delta_SE}$ の値は、データレートと入力容量によって大きく異なることを示しています。たとえば、ODR = 1.6kSPS で入力容量 = 1nF の場合に予測される R_{SOURCE_OWCS} の値は 781.15k Ω です。この結果は、理想的な 800k Ω R_{SOURCE} 値とほぼ等しくなります。ただし、ODR = 50kSPS、入力容量 = 1000nF の場合に予測される R_{SOURCE_OWCS} の値は、13.18k Ω のみです。データをポイント単位で確認すると、異なるパラメータ間でこのような大きな不一致が存在する理由を明らかにすることができます。

図 2-11 に、次の 4 種類の入力容量値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および ODR = 12.5kSPS について、 $OWCS_{Delta_SE}$ 値のポイント バイ ポイントを示します：1nF、10nF、100nF および 1000nF。

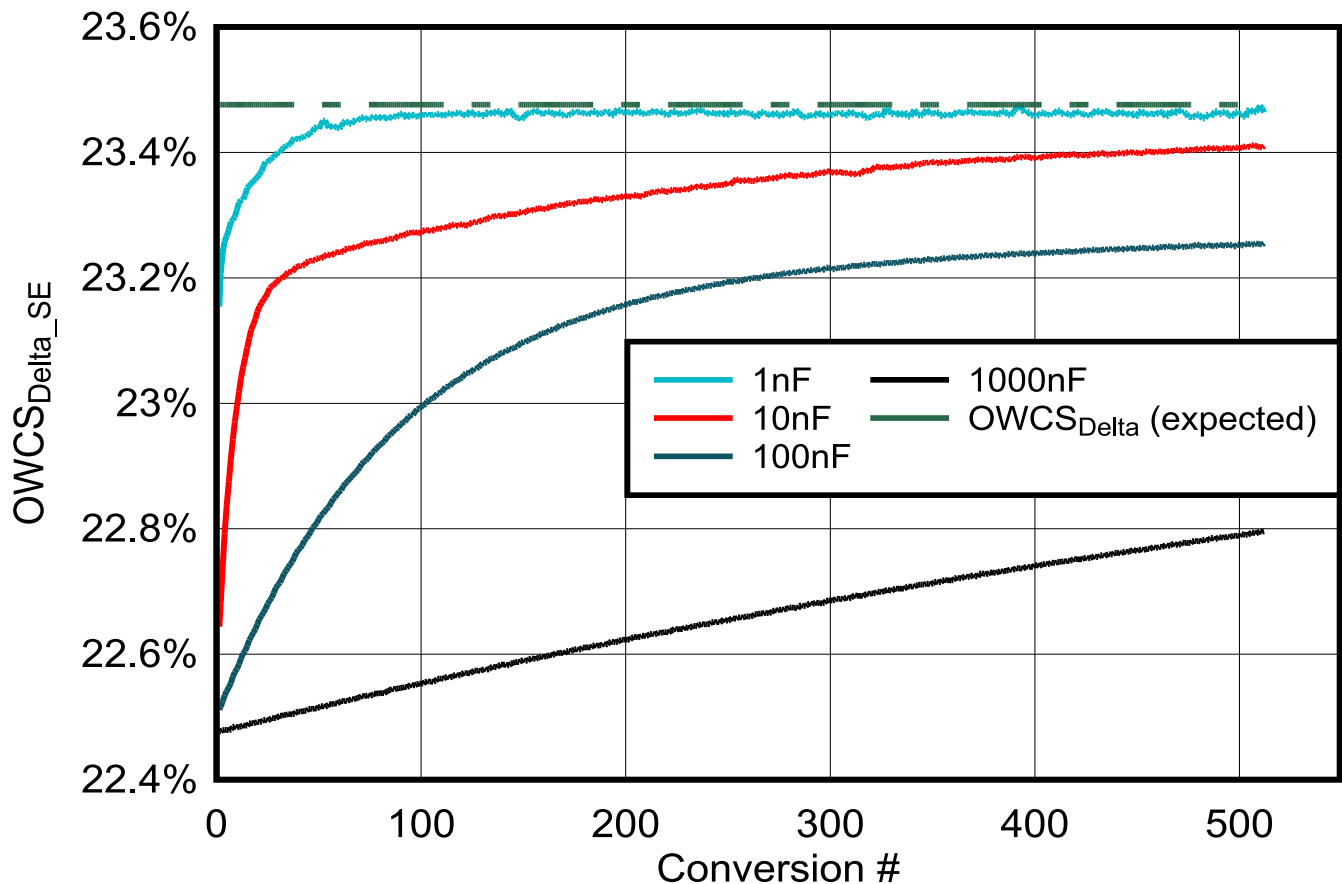


図 2-11. 異なる入力容量値における $OWCS_{Delta}$ の動作 (シングル エンド入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、ODR = 12.5kSPS)

図 2-11 は、入力容量が OWCS の動作に大きな影響を及ぼすことと、表 2-7 に示す結果に大きな変動がある理由を示しています:

- 1nF のプロットは、約 75 変換後に $OWCS_{Delta_SE}$ 値である 23.48% に達します
- 他の 3 つのプロットは、予期される $OWCS_{Delta_SE}$ 値に決して達しません
- 他の 3 つのプロットは、512 回の変換後でも定常状態に到達しません

これらの結果は、入力容量が増加するにつれてコンデンサの時定数が大きくなり、セトリング時間が長くなるため、妥当です。

入力コンデンサを取り付けたときに ODR を変更することも、すでに説明したように OWCS の性能に影響を及ぼします。

図 2-12 に、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および入力容量 = 10nF の 3 つの異なる ODR について、 $OWCS_{Delta_SE}$ 値を示します: 1.6kSPS、12.5kSPS および 50kSPS。プロットの x 軸の単位は ms であり、ADC によって捉えられた充電動作を明確に示しています。また、すべてのプロットは同じ点から始まり、互いに重なっています。

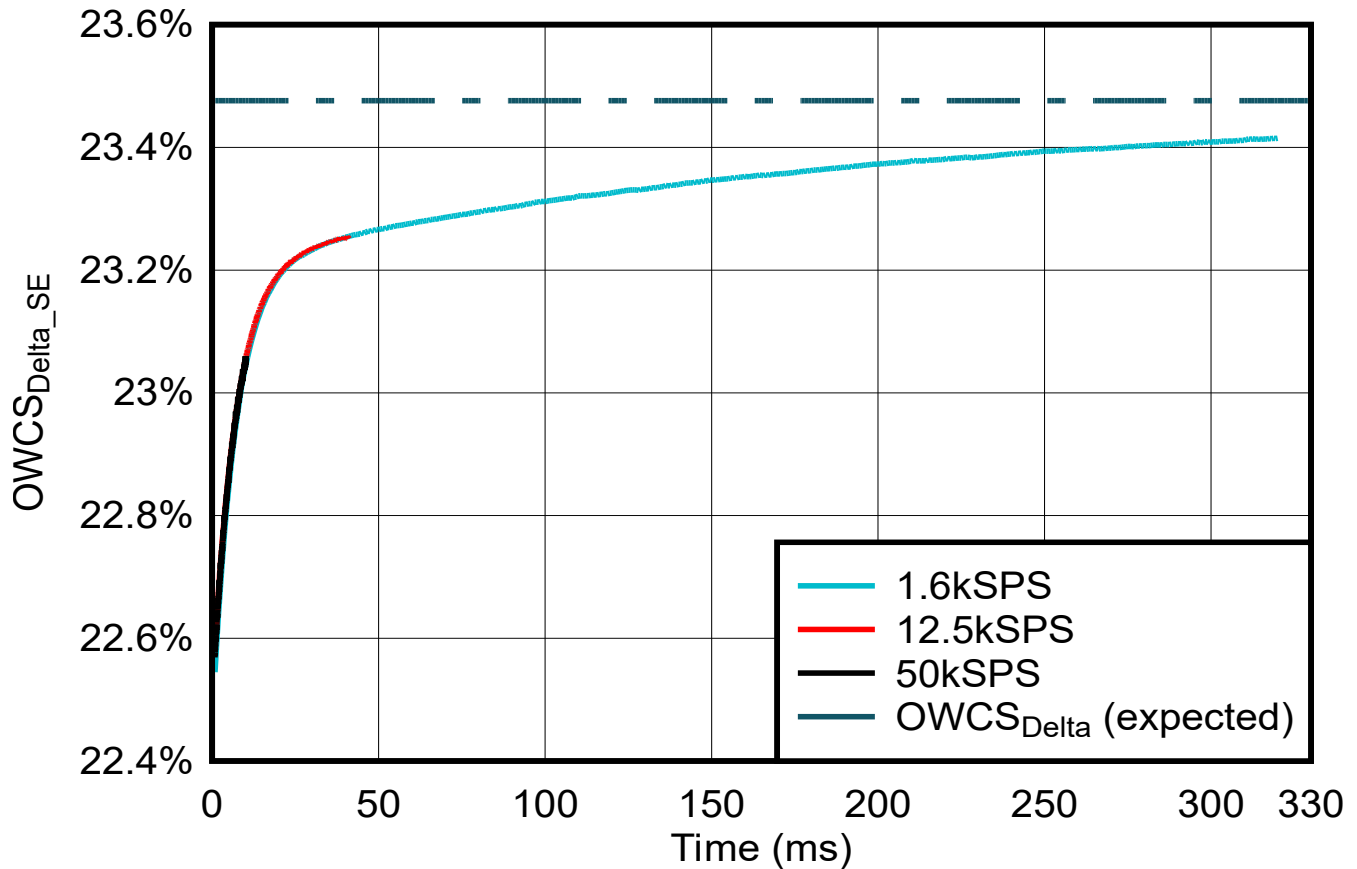


図 2-12. 異なる ODR 値における $OWCS_{Delta}$ の動作 (シングルエンド入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、入力容量 = 10nF)

図 2-12 の結果は妥当です。これは、コンデンサの時定数は変化しない一方で、ODR が高くなるほど ADC のサンプリング時間が短くなるためです。したがって、データレートが高くなるにつれて、ADC はコンデンサの定常状態よりも充電過程を多く捉えるようになり、測定値の安定性が低下します。

入力容量は、すでに述べたようにノイズを低減するのに役立ちます。図 2-13 に、4 種類の入力容量値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および ODR = 12.5kSPS のときに OWCS が無効な状態で測定された ADC コードのポイント単位を示します: 1nF、10nF、100nF および 1000nF。

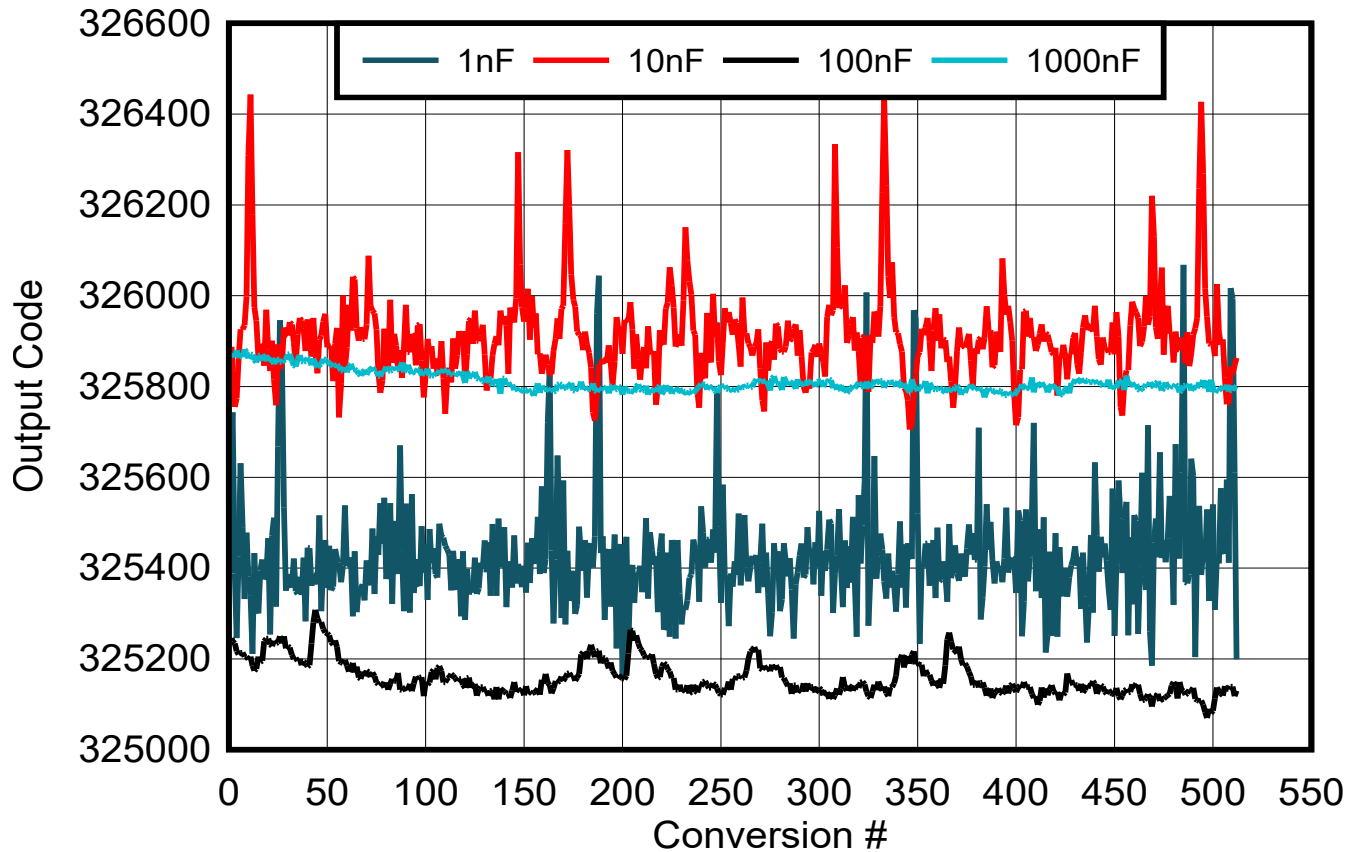


図 2-13. 異なる入力容量値における ADC コードの動作 (シングル エンド入力、OWCS 無効、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$)

図 2-13 は、入力容量が大きくなるにつれてノイズの拡散が減少することを定性的に示しています。具体的には、入力容量 = 1nF の場合の RMS ノイズは 160.38 コードであるのに対し、入力容量 = 1000nF の場合の RMS ノイズはわずか 14.09 コードです。設計者は、入力コンデンサによるノイズ低減の利点と、コンデンサのセリングによって生じる課題とのバランスに注意する必要があります。

2.2.2.4 シングル エンド入力のセリングの影響を軽減するための ADS125H18 プログラマブル遅延の使用

ADS125H18 にはプログラマブル遅延機能が内蔵されており、ADC が変換を開始する前に、外部回路のセリング動作が安定するまで待機するために使用できます。この遅延は、変換 START 後の最初の変換前、および ADC シーケンスが動作している場合は各新規シーケンス ステップの開始時に発生します。遅延値は 0 ~ 65535 変調器周期 t_{MOD} の範囲内で、ステップごとに個別にプログラムできます。

例えば、式 9 および式 10 は、 $f_{MOD} = 12.8MHz$ の場合の $1 t_{MOD}$ の時間 (μs) と、1ms の遅延に必要な t_{MOD} 周期数をそれぞれ算出します：

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

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

図 2-14 に、ADS125H18 データ準備完了 (DRDY) 信号のロジックアナライザ キャプチャを黄色で示します。DRDY は、新しいデータを ADC からクロック出力できる状態になったことを示します。DRDY パルス間の時間は、サンプル間の変換レイテンシを示します。緑色のボックスは、ADS125H18 シーケンスが自動的にステップ 1 (OWCS 無効) からステップ 2 (OWCS 有効) に遷移し、変換を開始するタイミングを示しています。ADC は sinc4 フィルタを使用し、 $ODR = 12.5kSPS$ で動作します。また、 $DELAY = 0$ に設定されているため、最初の変換レイテンシは約 320 μs となり、赤色で示されています。青色のボックスは、それ以降のすべての変換結果が $1/ODR$ の間隔で得られることを示しています。

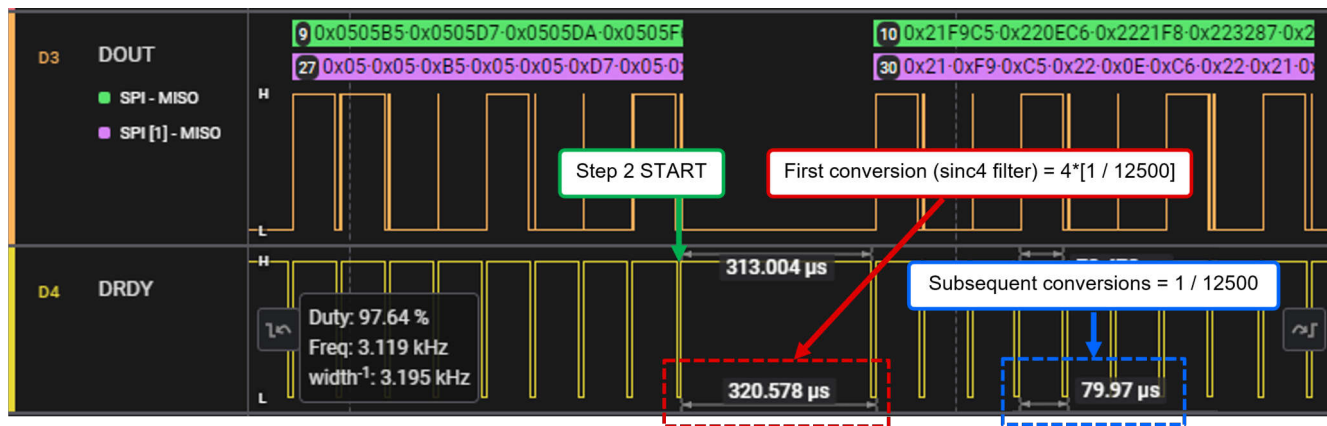


図 2-14. プログラマブル遅延 = 0d における ADS125H18 の DRDY タイミング (シングル エンド入力、Sinc4 フィルタ、ODR = 12.5kSPS)

比較すると、図 2-15 は図 2-14 と同じ動作を示しますが、DELAY = 12800 (1ms) に設定されています。赤色で強調されたボックスは、その結果、最初の変換レイテンシが 1ms 長くなることを示しています。後続の変換レイテンシ (青色) は変更されません。

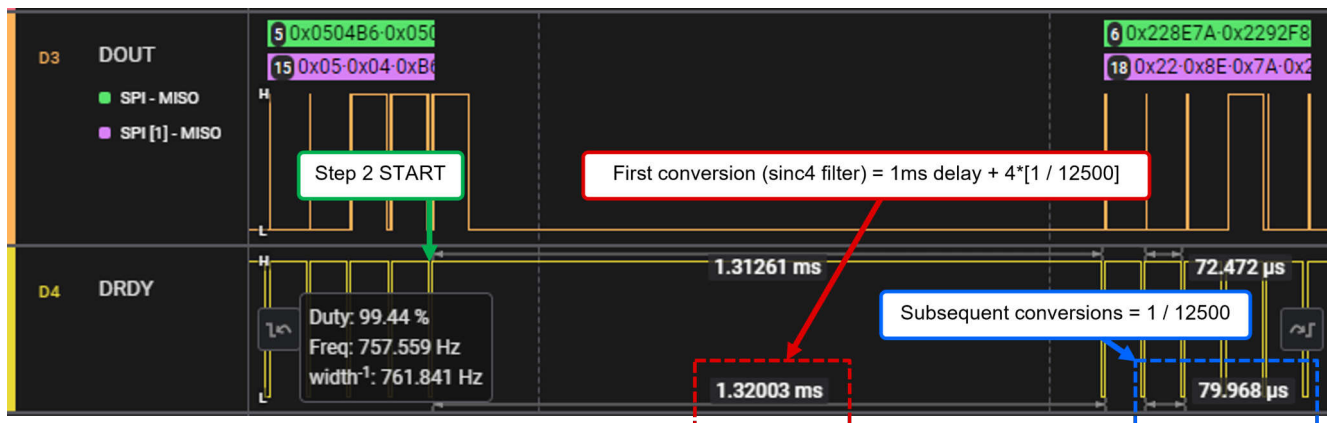


図 2-15. プログラマブル遅延 = 12800d における ADS125H18 の DRDY タイミング (シングル エンド入力、Sinc4 フィルタ、ODR = 12.5kSPS)

重要なのは、遅延機能は ADC のサンプリング処理のみを遅延させるため、シーケンサは「ステップ 2 START」の時点で直ちに OWCS 機能を有効にするという点です。この遅延により、ADC の変換処理が開始される前に OWCS 機能がセトリングするための時間を追加で確保でき、より高精度な測定が可能になります。表 2-8 に、二つの遅延値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF のときの測定結果と予測結果を比較します: 0ms および 1ms

表 2-8. プログラマブル遅延 = 0ms および 1ms における $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} (シングル エンド入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF)

ODR	遅延 = 0ms			遅延 = 1ms		
	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	エラー	$OWCS_{Delta_SE}$	R_{SOURCE_OWCS} (k Ω)	エラー
12.5kSPS	23.19%	480.91	40%	23.34%	632.30	21%

表 2-8 に示すように、プログラム可能な遅延を使うと、 R_{SOURCE} の実際の値と予測値との間の誤差を約 20% 低減できます。この遅延により、ADC がコンデンサの充電動作や、より定常状態の動作を捕捉できるようになるため、より安定した測定が行えます。図 2-16 に、表 2-8 に示す 512 回の変換で平均化された単一の値ではなく、 $OWCS_{Delta_SE}$ 値をポイント単位でプロットし、この動作を示します。図 2-16 は、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF、遅延値が次の二つの異なる値を使用します: 0ms および 1ms

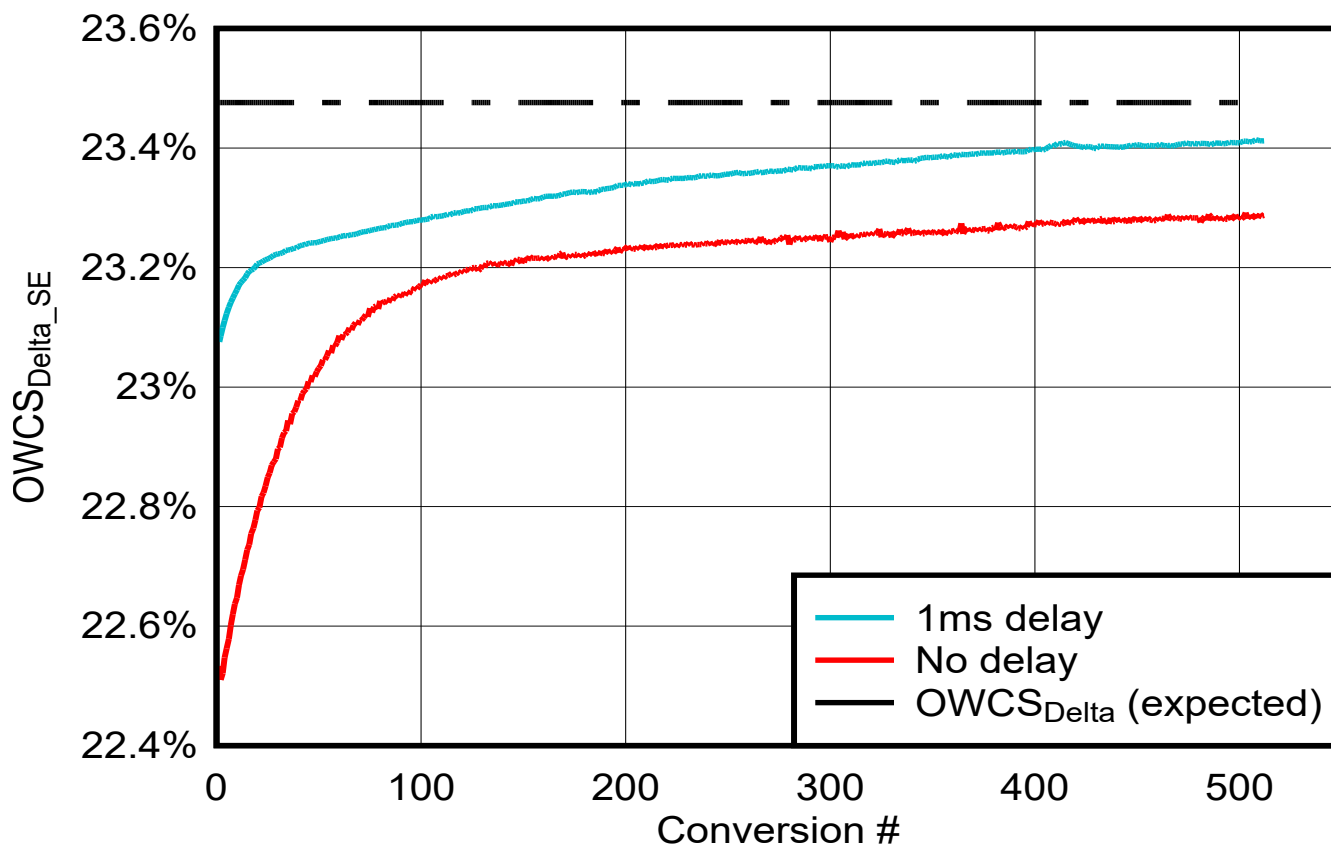


図 2-16. プログラマブル遅延 = 0ms および 1ms における $OWCS_{Delta}$ の動作 (シングル エンド入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、入力容量 = 10nF、ODR = 12.5kSPS)

図 2-16 に、プログラム可能な遅延により、コンデンサの初期充電動作のほとんどをどのように回避し、予測に近い平均値が得られるかを示します。遅延時間をさらに長くすることで、この動作をさらに改善できる可能性があります。最後に、に特定の ODR および入力容量パラメータセットについて、特定の遅延時間が $OWCS$ の性能にどのように影響するかを示します。これらのシステム パラメータのいずれかをユーザーが変更する場合は、別の遅延値が必要になることがあります。

2.3 差動入力信号で OWCS を使用

以下のセクションでは、ADS125H18 に差動入力を印加した場合の OWCS の動作について説明します：

- 差動信号の OWCS の動作を分析する
- ADS125H18EVM を使用した差動入力での OWCS 動作の検証

2.3.1 差動入力信号の OWCS の動作を分析する

このセクションでは、ソース インピーダンス R_{SOURCE} を持つ差動入力を ADS125H18 に印加したときの OWCS の動作を分析します。図 2-17 に、OWCS を無効にして差動 R_{SOURCE} インピーダンスを持つときの差動入力の分析に使用する回路を示します：

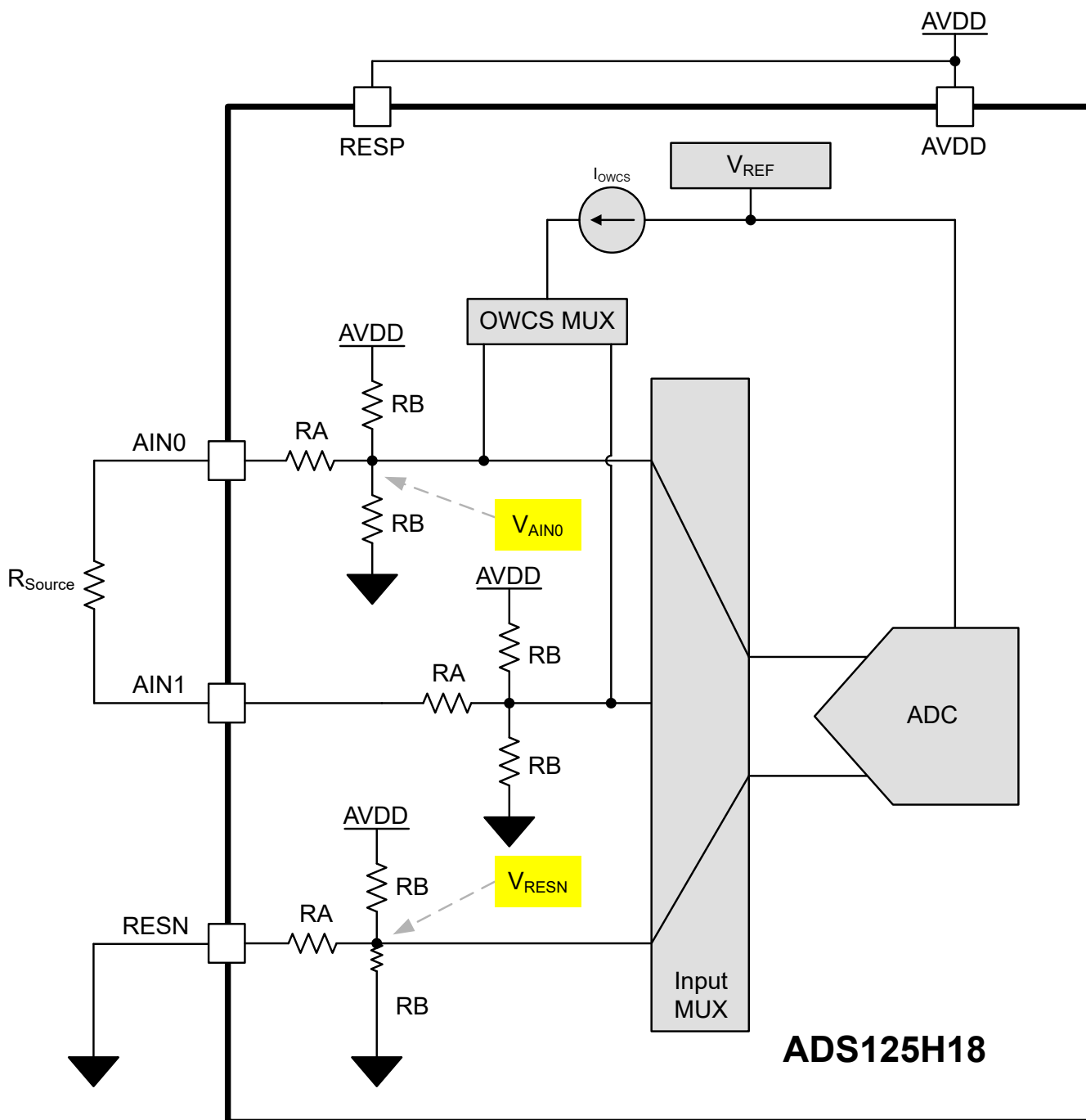


図 2-17. 差動入力信号の OWCS の動作を分析する

セクション 2.1 から、差動入力信号でも、OWCS の測定値は常に RESN に対してシングル エンドであることに注意してください。したがって、AIN0 または AIN1 のいずれかの配線がオープン状態であることを検出する場合: 四回の測定が必要です。すなわち、一回のベースライン測定と、各ピンに対する一回ずつの OWCS 測定です。ただし、本書では AIN0 の電圧のみを解析します。これは、同じ手法を AIN1 にも適用でき、どちらの場合も理想的には同じスレッショルドの結果が得られるためです。したがって、セクション 2.2.1 で説明しているのと同じ解析手法を使用してください。式 11 は、図 2-17 に示すノード V_{AIN0} と V_{RESN} 間の差動入力に対する OWCS デルタを算出します:

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

差動測定用の式 11 は、シングル エンド測定用の式 3 とほぼ同じですが、AIN1 に印加される追加の AVDD 電圧が、解析に含めるべきもう一つの電圧源となります。セクション 2.2.1 に示すように、重ね合わせを使用して、電圧源を短絡したり、電流源を開いたりして回路内の各ソースからの電圧寄与を分析します。例えば、図 2-18 は、OWCS を有効にしたときの AIN0 の総電圧 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$ を算出するには、四つの異なる重ね合わせ回路構成が必要であることを示しています:

- $V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} = AVDD$ (AIN0) 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-18、左上)
- $V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} = AVDD$ (AIN1) 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-18、右上)
- $V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff} = AVDD$ (RESN) を接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-18、左下)
- $V(AIN0)_{AIN0_OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ 接続、他のすべてのソースを削除 (図 2-18、右下)

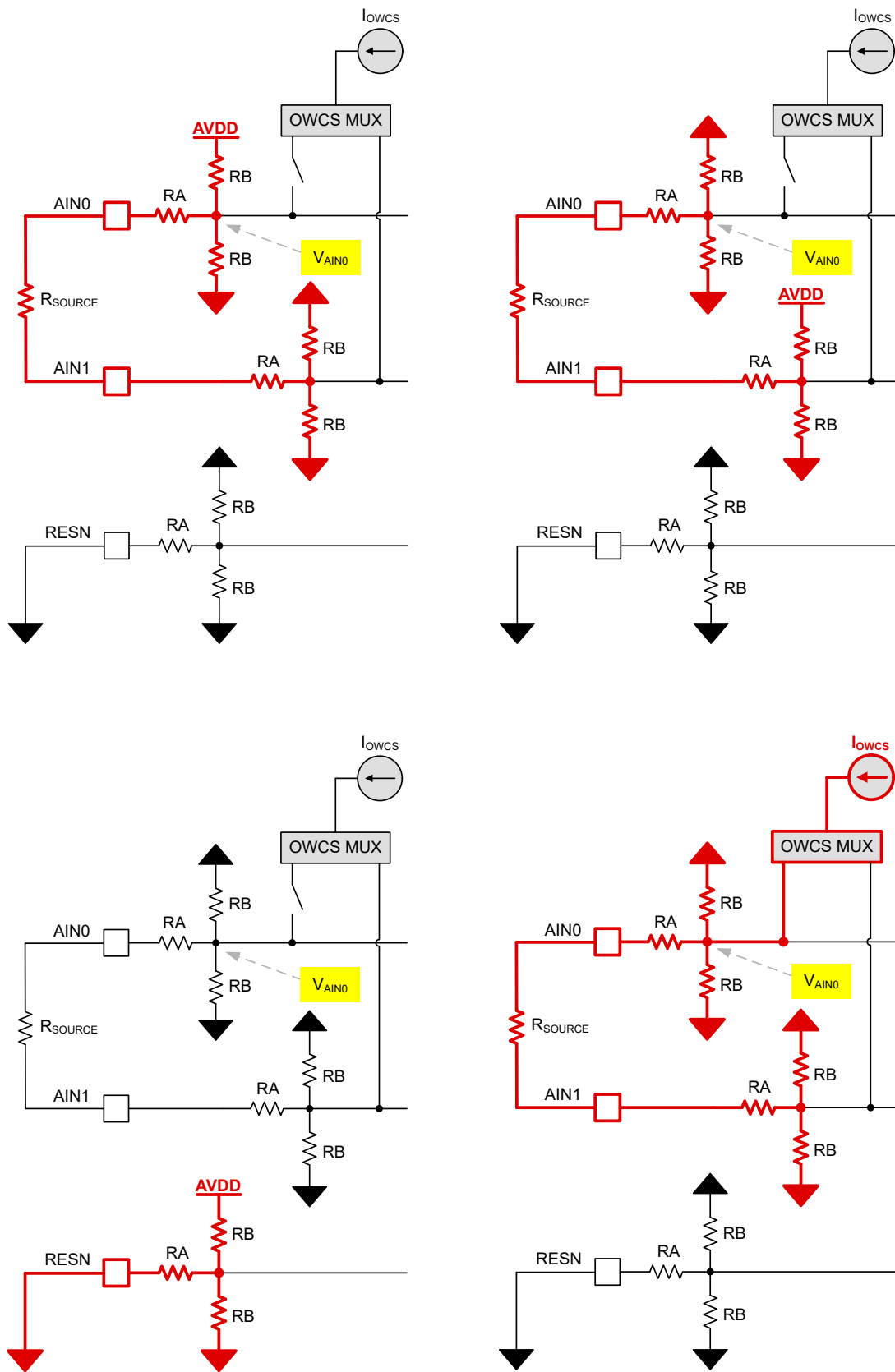


図 2-18. 差動入力を重ね合わせ回路例

表 2-9 に、式 11 のすべての項にこの同じ分析を適用した後の各ノード電圧を示します:

表 2-9. 差動入力ノード電圧

電圧項	ノード電圧
$V(AIN0)_{OWCS_on}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN0_OWCS_Diff}$ ここで、 – $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(AIN0)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(AIN0)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(AIN0)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ を接続、他のすべてのソースを削除
$V(RESN)_{OWCS_on}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(RESN)_{RESN_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN0_OWCS_Diff}$ ここで、 – $V(RESN)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(RESN)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(RESN)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(RESN)_{OWCS_Diff} = I_{OWCS}$ を接続、他のすべてのソースを削除
$V(AIN0)_{OWCS_off}$	$= V(AIN0)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(AIN0)_{RESN_AVDD_Diff}$ ここで、 – $V(AIN0)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(AIN0)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(AIN0)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除
$V(RESN)_{OWCS_off}$	$= V(RESN)_{AIN0_AVDD_Diff} + V(RESN)_{AIN1_AVDD_Diff} + V(RESN)_{RESN_AVDD_Diff}$ ここで、 – $V(RESN)_{AVDD_AIN0_Diff} = AVDD(AIN0)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(RESN)_{AVDD_AIN1_Diff} = AVDD(AIN1)$ を接続、他のすべてのソースを削除 – $V(RESN)_{AVDD_RESN_Diff} = AVDD(RESN)$ を接続、他のすべてのソースを削除

幸い、[セクション 2.2.1](#)と同様に、[表 2-9](#)のほぼすべての項が相殺されるため、最終的な式は $OWCS$ を有効にしたときの $AIN0$ の電圧 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$ のみになります。[式 12](#) は、 $V(AIN0)_{OWCS_Diff}$ を抵抗 RA 、 RB 、 R_{SOURCE} 、および電流 I_{OWCS} を用いて書き換えます：

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

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

最後に、[式 2](#) から実際の $OWCS$ 電流 I_{OWCS} はリファレンス電圧 V_{REF} を基準としていることに注意してください。したがって、[式 12](#) の I_{OWCS} 項は、公称 $OWCS$ 電流 I_{OWCS_NOM} を用いて書き換えることができ、[式 13](#) に示すように簡略化できます：

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

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

[式 13](#) は、測定した $OWCS_{Delta}$ スレッショルドから差動 R_{SOURCE_OWCS} の値を予測できるように、[式 14](#) に示す形へ書き換えることもできます：

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

[表 2-1](#) には、**ADS125H18** のすべてのバージョンについて、 RB および I_{OWCS_NOM} の値が含まれます。[図 2-19](#) は、[表 2-1](#) から[式 13](#) で取得するすべてのパラメータを適用し、 R_{SOURCE} を $1k\Omega$ から $1G\Omega$ までスイープして、理想的な $OWCS_{Delta_Diff}$ 曲線を生成します：

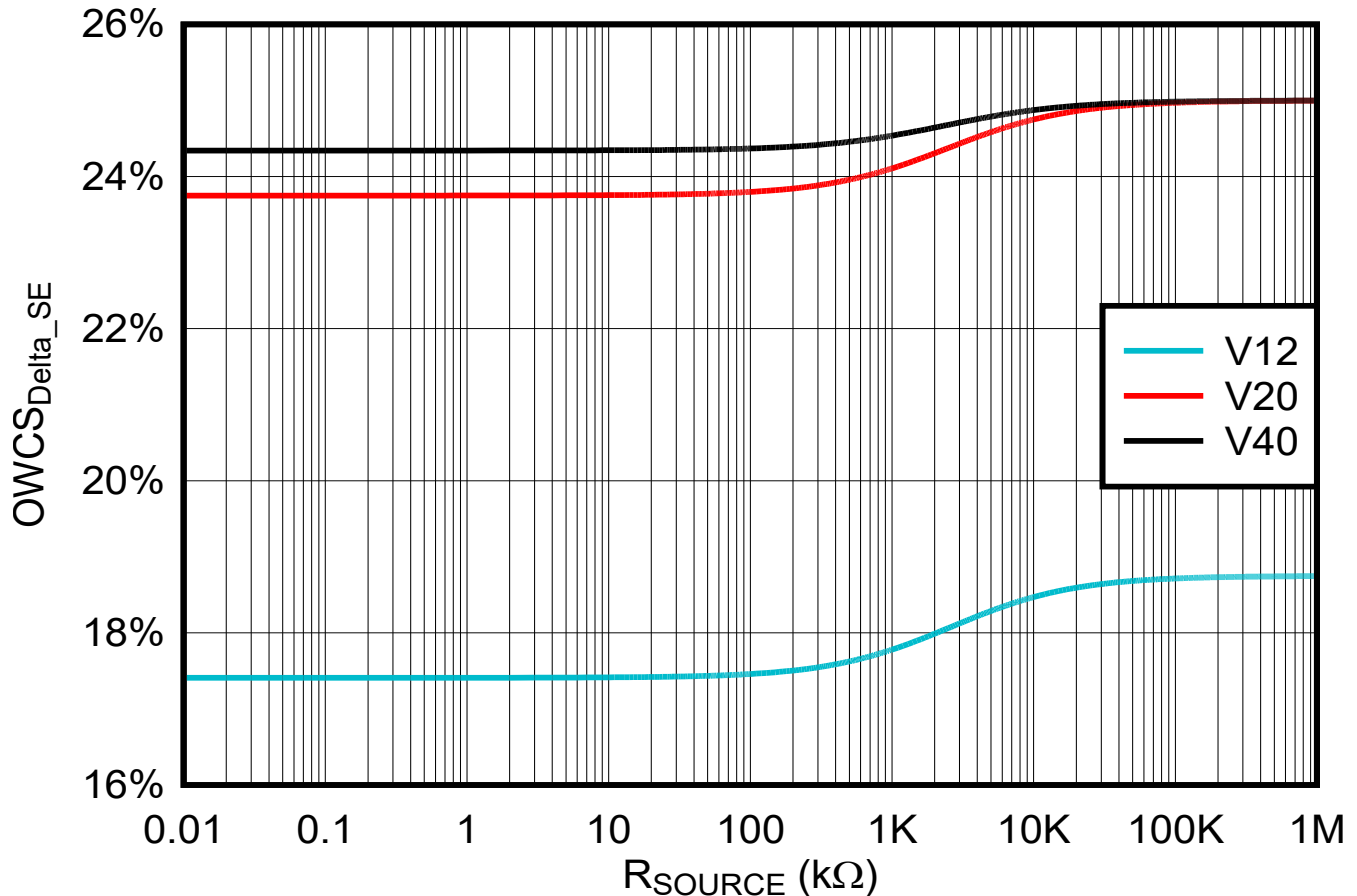


図 2-19. 差動入力測定時のすべての ADS125H18 バリエーションにおける $OWCS_{Delta}$ の動作 ($R_{SOURCE} = 1k\Omega \sim 1G\Omega$)

図 2-19 に、OWCS の差動測定で重要な二つのポイントを示します：

1. $OWCS_{Delta_Diff}$ に大きな変更は、100kΩ から 10MΩ までの範囲にあります。この範囲は、入力インピーダンスの変化が最も検出可能な場所を示します
2. 各 $OWCS_{Delta_Diff}$ 曲線は、 $R_{SOURCE} = 0\Omega$ および $R_{SOURCE} = \infty$ において理論上の最小値と最大値を持ちます。減衰係数が大きくなるにつれて最小値と最大値の差が小さくなり、OWCS 故障を判定するためのマージンが狭くなります。表 2-10 に、これらの結果をまとめます。

表 2-10. 差動入力における最小および最大 $OWCS_{Delta}$ 値

ADS125H18 バージョン	減衰係数	$OWCS_{Delta_Diff}$ 最小値	$OWCS_{Delta_Diff}$ 最大値	差分
V12	7	17.41%	18.75%	1.34%
V20	10	23.75%	25.00%	1.25%
V40	19	24.34%	25.00%	0.66%

表 2-10 と表 2-3 を比較すると、ADS125H18 の各バージョンの OWCS デルタ範囲は、差動入力とシングル エンド入力のどちらよりも小さいことが示されています。この差は、差動ペアのもう一方の入力によって追加される抵抗分圧回路 (RA および RB) によって生じます。したがって、差動入力では、シングル エンド入力と比較して OWCS 故障の検出が難しくなります。

2.3.2 ADS125H18EVM を使用した差動入力での OWCS 動作の検証

ADS125H18 評価基板を使用して OWCS の動作を検証するためテストを実施しました。ADS125H18 評価基板は、ADS125H18 の機能および性能を評価するためのプラットフォームです。ADS125H18EVM-PDK を使用すると、ユニバーサル シリアル バス (USB) インターフェイス経由で接続されたハードウェア、ソフトウェア、コンピュータを使ってデバイスを簡単に評価できます。図 2-20 に ADS125H18 評価基板の回路図を示します。

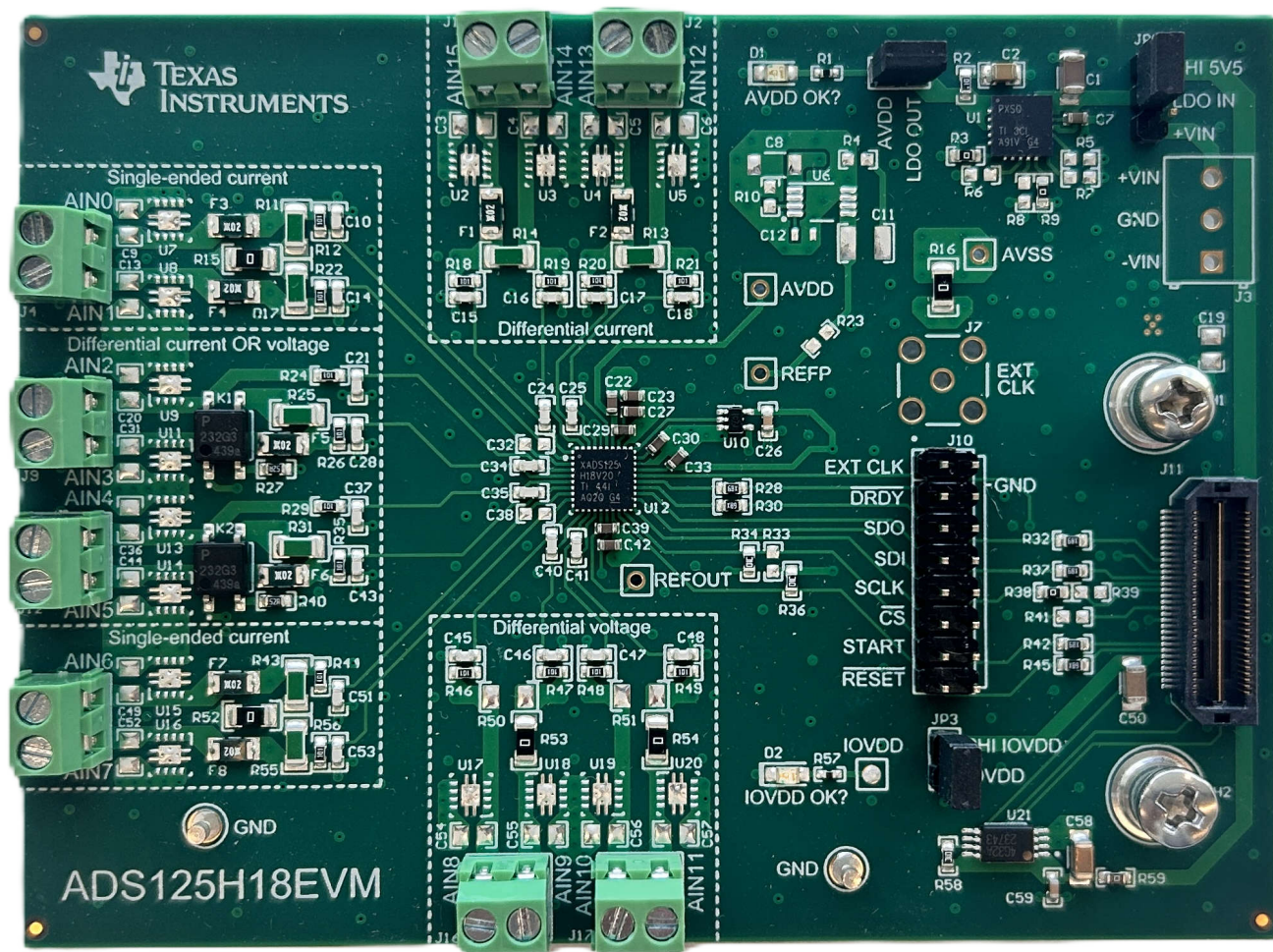


図 2-20. ADS125H18EVM 基板の外観

OWCS の検証には、以下の ADC および評価基板の条件を使用しました:

- ADS125H18V20
- 内部 25.6MHz 発振器
- 速度モード 3 ($f_{MOD} = 12.8\text{MHz}$)
- 内部 2.5V リファレンス電圧
- シングルショット シーケンス モード
- 有効な四つのステップ:
 - 正入力チャネル
 - ステップ 1 = OWCS は無効です
 - ステップ 2 = OWCS は有効です
 - 負入力チャネル
 - ステップ 3 = OWCS は無効です
 - ステップ 4 = OWCS は有効です
- 三つの出力データレート (ODR):
 - 1.6kSPS (sinc4 + sinc1 filter、OSR = 8000)
 - 12.5kSPS (sinc4 filter、OSR = 1024)
 - 50kSPS (sinc4 + sinc1 filter、OSR = 256)
- 各 OWCS ステップあたり 512 回の変換 (発生する可能性のあるセトリグ動作を捉える)
- 外付け受動部品 (R または C) は不要

2.3.2.1 差動入力による OWCS の動作の確認

ADS125H18 評価基板の差動入力を使用した簡単な OWCS 検証の設定を、図 2-21 に示します。端子台と ADC 入力ピンの間には、受動部品は実装されていません。幅広い入力インピーダンス範囲で性能を検証するため、評価基板の端子台の正入力と負入力の間 (例えば AIN8 と AIN9 の間) に、さまざまな 0.1% 精度の R_{SOURCE} 抵抗を接続しました。この構成では、ADC に 0V の入力信号が供給されるため、分析が簡素化されます。

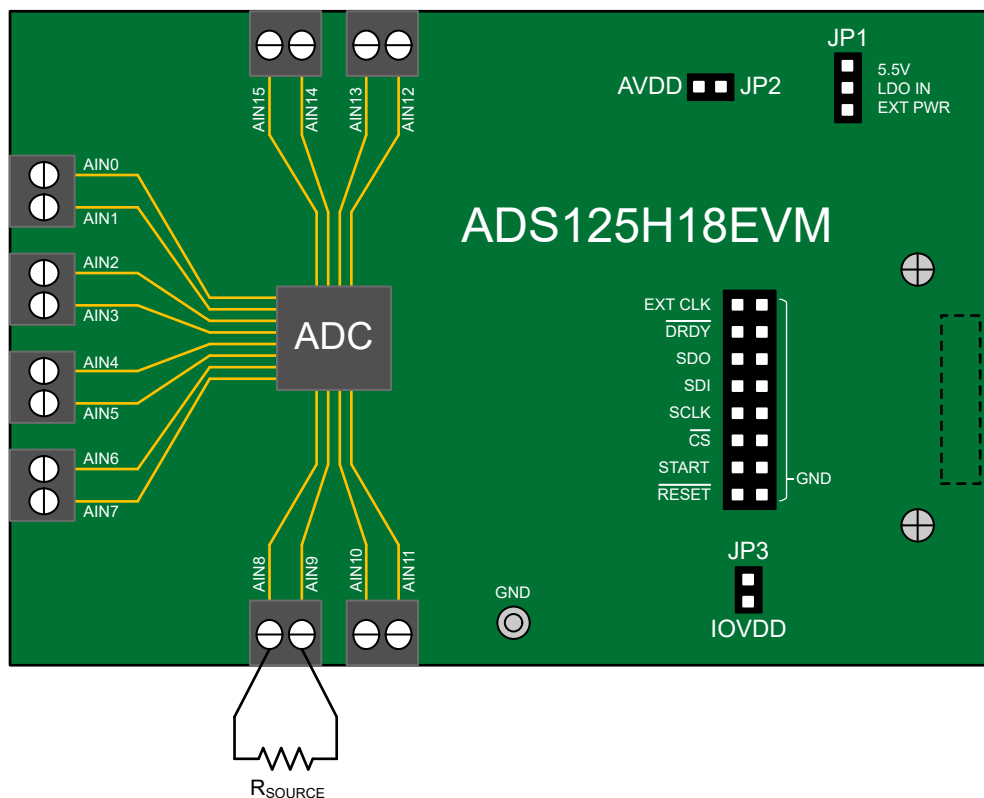


図 2-21. 差動入力に対する OWCS 検証の設定

セクション 2.1 で説明したように、差動入力の断線を検出するには、各配線について一回のベースライン測定と一回の検出測定を行う、合計四回の測定が必要です。まず、正入力チャネルについて、OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換して測定しました。次に、負入力チャネルについて、OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換して測定しました。OWCS を無効にした状態での 1024 回の変換結果を平均し、OWCS を有効にした状態での 1024 回の変換結果も平均しました。次に、式 13 を使用して二つの $OWCS_{Delta_Dif}$ 値を計算し、式 1 の項を再配置することで、予測された R_{SOURCE_OWCS} 値に変換しました。表 2-11 に、3 つの異なる ODR および 6 つの異なる R_{SOURCE} 値での測定および平均化結果を示します：

表 2-11. 異なる ODR および R_{SOURCE} 入力における $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} 値 (差動入力)

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
∞ (オープン)	25.01%	>1G	25.01%	>1G	25.00%	>1G

表 2-11 は、ほとんどすべての R_{SOURCE} 値について、異なる ODR の間に印加される差動ソース インピーダンスを OWCS が正しく決定したことを示しています。ただし、表 2-11 では、予測される R_{SOURCE_OWCS} 値と実際の R_{SOURCE} 値との間のおおよそ $4k\Omega$ オフセットも示されています。幸い、 $k\Omega$ 単位では一見大きく見えるこの誤差も、入力コードの平均変動に換算するとわずか 0.05% であり、ADS125H18 の抵抗分圧回路のマッチングに起因すると考えられます。最終的に、OWCS 故障検出は意図したとおりに動作し、開回路だけでなく、ソース インピーダンスの大きな変化も正確に検出できました。

2.3.2.2 差動入力を使用する OWCS の変換数の削減

表 2-11 に、2048 のサンプルから計算された $OWCS_{Delta_Diff}$ の平均値を示します。セクション 2.3.1 は、シーケンス ステップごとに 512 回の変換を使用して、可能なセトリング動作をキャプチャしたことを示しています。ただし、断線を検出するために合計 2048 回の変換を行うと、多くの産業用システムでは非現実的なほど長い時間を要する可能性があります。たとえば、 $1.6kSPS$ で 2048 変換には約 $1280ms$ が必要です。サンプリングしたデータ ポイントを解析することで、正確な故障検出に実際に必要な変換回数を把握できます。

図 2-22 は、表 2-11 に示す単一の平均値ではなく、 $OWCS_{Delta_Diff}$ の値をポイントごとにプロットしています。図 2-22 は、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ と 3 つの異なる ODR 値を使用します： $1.6kSPS$ 、 $12.5kSPS$ および $50kSPS$ 。なお、図 2-22 では正入力チャネルの結果のみをプロットしています。これは、負入力チャネルの結果が実質的に同一であったためです。

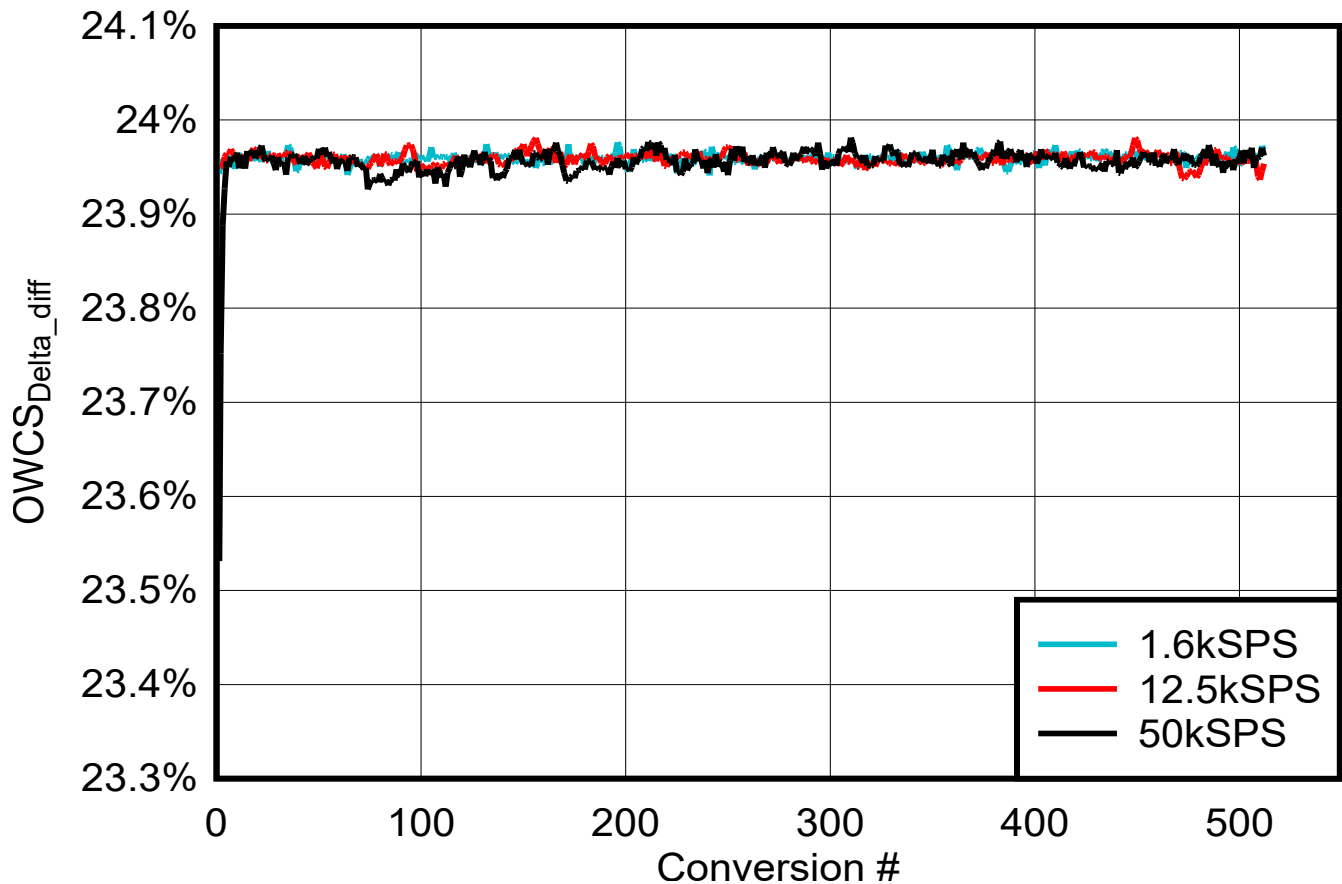


図 2-22. セトリング動作を示す $OWCS_{Delta}$ 測定値のポイントごとのプロット (差動入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

図 2-22 から、データにはある程度のセトリング動作が見られるものの、未セトリングの外れ値の影響により、それ以外には有用な情報がほとんど得られないことが分かります。このデータを未セトリング成分とセトリング後の成分に分けることで、故障検出エラーが発生する理由をより明確にできます。また、この動作は $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ で示されますが、 R_{SOURCE} のすべての値に存在していることに注意してください。

2.3.2.2.1 差動入力のセトリング前データ

表 2-12 には、三つの異なる ODR で最初の三つの変換データのみから計算された、測定された $OWCS_{Delta_Diff}$ および予測された R_{SOURCE_OWCS} 値が含まれます:

表 2-12. 最初の変換データ ポイントのみを使用した $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} 値 (差動入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

ODR	最初の三回の変換のみ	
	$OWCS_{Delta_Diff}$	$R_{SOURCE_OWCS} (k\Omega)$
1.6kSPS	23.95%	474.32
12.5kSPS	23.95%	478.92
50kSPS	23.68%	0 (short)

表 2-12 に示す重要なことは、ODR = 50kSPS での未セトリング データが、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$ ではなく短絡であることを示していることです。これらの条件下で最初の三回の変換結果を使用して断線を判定すると、偽陰性となる可能性があります。比較的、他の二つの ODR 設定は R_{SOURCE_OWCS} の値を正しく予測することができます。これらを総合すると、データレートが高い場合、OWCS の計算結果が不正確になる可能性があることが分かります。ユーザーは、OWCS データレートとシステムの変換数の両方を選択するときに、この可能性を考慮する必要があります。

2.3.2.2.2 差動入力のセトリング後データ

図 2-23 に、図 2-22 と同じデータを示しますが、すべての ODR について最初の三つの変換が削除されています。言い換えると、図 2-23 は、複数の変換に対して平均化された単一の値ではなく、変換 4 から 512 ポイント単位までのポイント単位でプロットします:

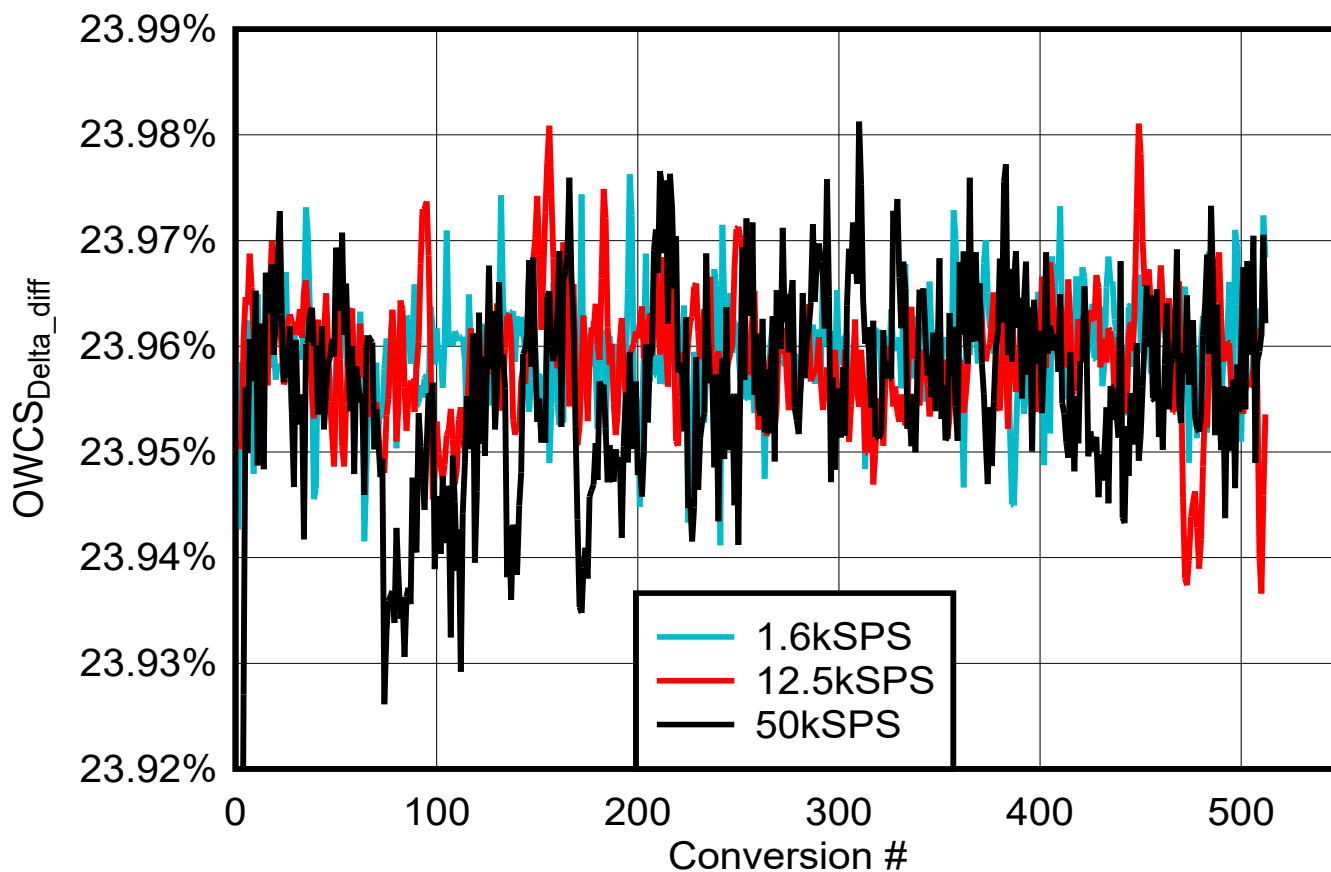


図 2-23. ODR 全体にわたる $OWCS_{Delta}$ の測定値 (最初の 3 回の変換を除外) のポイントごとのプロット (差動入力、 $R_{SOURCE} = 500k\Omega$)

図 2-23 に、OWCS 計算に求められる動作を示します。OWCS_{Delta_Diff} 値は一般に、ガウス分布 (広帯域) ノイズを持ちます。さらに、ODR が小さくなると、ADC デジタルフィルタの帯域幅も減少するため、ノイズ分布は厳格になります。これらどちらの要因も、熱ノイズが支配的になっている標準的な ADC データを示しており、セリング効果はありません。これにより、あらゆる変換に対して R_{SOURCE_OWCS} を正しく予測できます。

表 2-13 は、図 2-23 の OWCS_{Delta_Diff} 値の分布を解析し、予測される R_{SOURCE_OWCS} の最小値と最大値のばらつきを求めます：

表 2-13. OWCS_{Delta} の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} のバラツキ (差動入力、R_{SOURCE} = 500kΩ)

ODR	最小 **		最大 **		差 (最大 — 最小) (kΩ)
	OWCS _{Delta_Diff}	R _{SOURCE_OWCS} (kΩ)	OWCS _{Delta_Diff}	R _{SOURCE_OWCS} (kΩ)	
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

** 最初の 3 回の変換を除く

表 2-13 は、最小の ODR (1.6kSPS) で最小と最大の差が小さく、ODR の増加に伴って増加することを示しています。ただし、最小値と最大値は、どの場合でも 500kΩ の R_{SOURCE} インピーダンスを正しく近似するものです。したがって、これらの条件では、変換回数を大幅に少なく (< 512) しても、信頼性を損なうことなく、より高速な断線検出が可能であったと結論付けられます。

2.3.2.3 入力容量が差動入力における OWCS 性能に与える影響

セクション 2.3.2.1 に、標準的な ADS125H18 評価基板を使用し、端子台と ADC 入力ピンの間に受動部品を取り付けずに OWCS 性能を示します。ただし、多くの産業用システムでは、ノイズ除去などを目的として入力部にコンデンサが配置されています。図 2-24 は、AIN8 と AIN9 のアナログ入力間に赤色で示す差動コンデンサを配置し、さらに各入力とグラウンド間に青色で示すコモン モード (シングル エンド) コンデンサを配置したシステムの例を示しています。ADS125H18 評価基板には、デフォルトでは実装されていないこれらの部品用のフットプリントが含まれています。

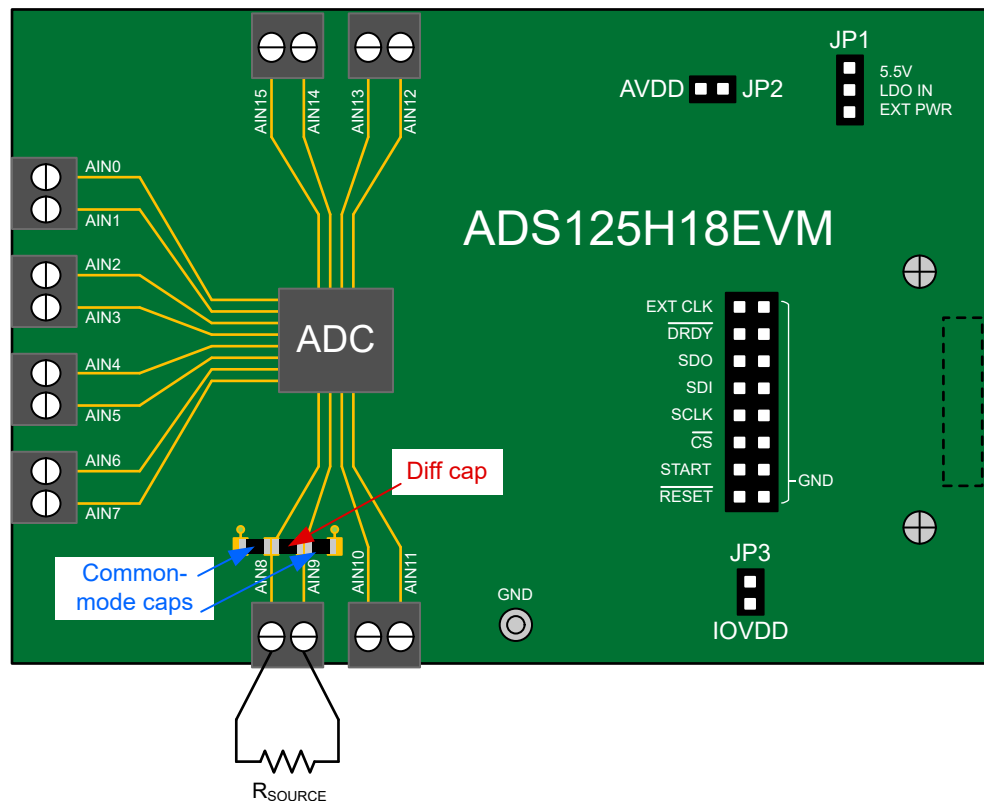


図 2-24. 入力容量を使用した ADS125H18EVM の差動入力の測定

アナログ入力に容量を追加すると、コンデンサの充電に起因するセトリング タイムが長くなりますが、ノイズを低減できます。この動作は、電流源 (OWCS) がオンになったときの測定値に影響を及ぼします。コンデンサは、必要な電圧まで瞬時に充電できないからです。この影響は、コンデンサが瞬時に放電できないため、OWCS をオフにしたときにも測定可能です。

入力容量が OWCS 検出動作にどのように影響するかを測定するため、ADS125H18 評価基板には複数のコンデンサが取り付けられています。それ以外の場合は、[セクション 2.3.2](#) の最初に記載されている設定と同じ設定が使用されます。まず、正入力チャネルについて、OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換して測定しました。次に、負入力チャネルについて、OWCS を無効にした状態で 512 回変換し、その後 OWCS を有効にした状態で 512 回変換して測定しました。OWCS を無効にした状態での 1024 回の変換結果を平均し、OWCS を有効にした状態での 1024 回の変換結果も平均しました。次に、[式 13](#) を使用して二つの $OWCS_{\Delta_Diff}$ 値を計算し、[式 1](#) の項を再配置することで、予測された R_{SOURCE_OWCS} 値に変換しました。[表 2-14](#) に、3 つの異なる ODR と 4 種類の入力容量値にわたって $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ の場合の測定、平均化の結果を示します：

表 2-14. 異なる ODR および入力容量における $OWCS_{\Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$)

入力容量 (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](#) は、 $OWCS_{\Delta_Diff}$ の値は、データレートと入力容量によって大きく異なることを示しています。たとえば、ODR = 1.6kSPS で入力容量 = 1nF の場合に予測される R_{SOURCE_OWCS} の値は 616.53k Ω です。この結果は、理想的な 800k Ω R_{SOURCE} 値のほぼ 77% になります。ただし、ODR = 50kSPS、入力容量 = 1000nF の場合に予測される R_{SOURCE_OWCS} 値は 0 Ω となり、完全な短絡を示しています。データをポイント単位で確認すると、異なるパラメータ間でこのような大きな不一致が存在する理由を明らかにすることができます。

[図 2-25](#) に、次の 4 種類の入力容量値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および ODR = 12.5kSPS について、 $OWCS_{\Delta_Diff}$ 値のポイント バイ ポイントを示します：1nF、10nF、100nF および 1000nF。

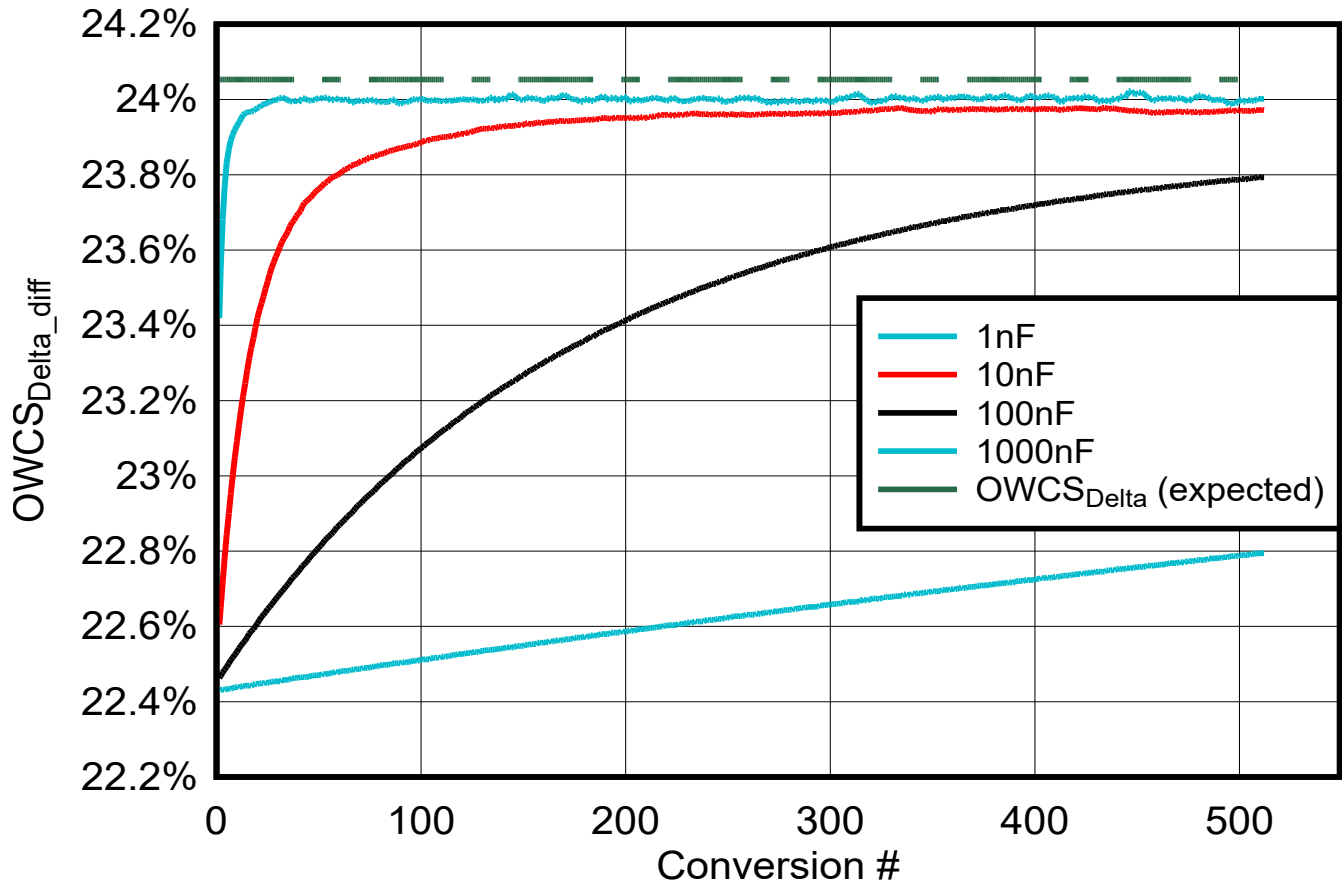


図 2-25. 異なる入力容量値における $OWCS_{Delta}$ の動作 (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$)

図 2-25 は、入力容量が $OWCS$ の動作に大きな影響を及ぼすことと、表 2-14 に示す結果に大きな変動がある理由を示しています：

- 1nF のプロットは、約 35 回の変換後に、予想される $OWCS_{Delta_Diff}$ 値 24.05% とほぼ等しい定常値に到達します
- 10nF のプロットは、約 200 回の変換後に、予想される $OWCS_{Delta_Diff}$ 値 24.05% とほぼ等しい定常値に到達します
- 他の 2 つのプロットは、期待される $OWCS_{Delta_SE}$ 値に決して達しません
- 他の 2 つのプロットは、512 回の変換後でも定常状態に到達しません

これらの結果は、入力容量が増加するにつれてコンデンサの時定数が大きくなり、セトリング時間が長くなるため、妥当です。

入力コンデンサを取り付けたときに ODR を変更することも、すでに説明したように $OWCS$ の性能に影響を及ぼします。

図 2-26 に、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および入力容量 = 10nF の 3 つの異なる ODR について、 $OWCS_{Delta_Diff}$ 値を示します：1.6kSPS、12.5kSPS および 50kSPS。プロットの x 軸の単位は ms であり、ADC によって捉えられた充電動作を明確に示しています。また、すべてのプロットは同じ点から始まり、互いに重なっています。

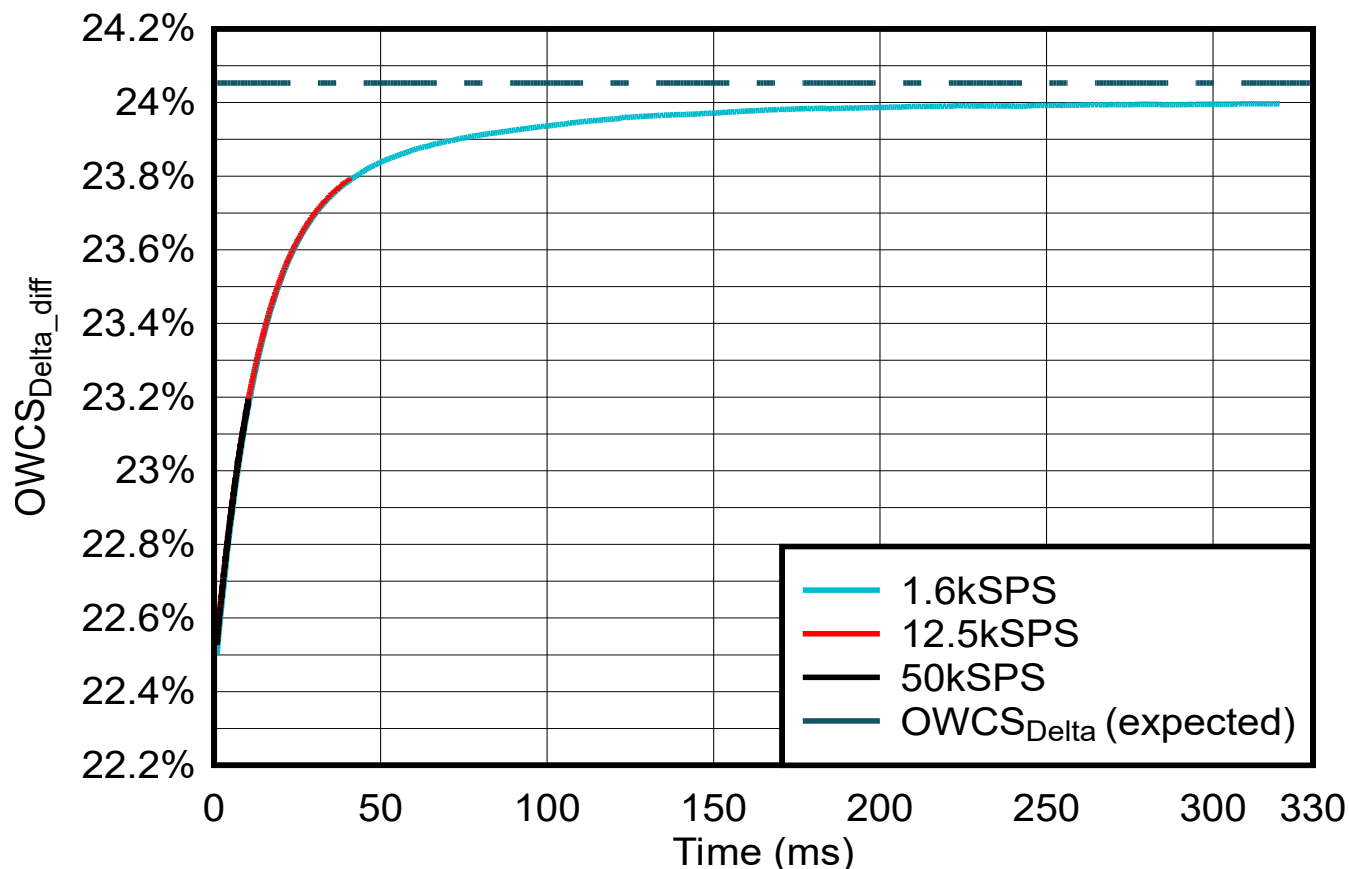


図 2-26. 異なる ODR 値における $OWCS_{Delta}$ の動作 (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、入力容量 = 10nF)

今回も、この結果は妥当です。これは、コンデンサの時定数は変化しない一方で、ODR が高くなるほど ADC のサンプリング時間が短くなるためです。したがって、データレートが高くなるにつれて、ADC はコンデンサの定常状態よりも充電過程を多く捉えるようになり、測定値の安定性が低下します。

入力容量は、すでに述べたようにノイズを低減するのに役立ちます。図 2-27 に、4 種類の入力容量値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ および $ODR = 12.5kSPS$ のときに $OWCS$ が無効な状態で測定された ADC コードのポイント単位を示します: 1nF、10nF、100nF および 1000nF。

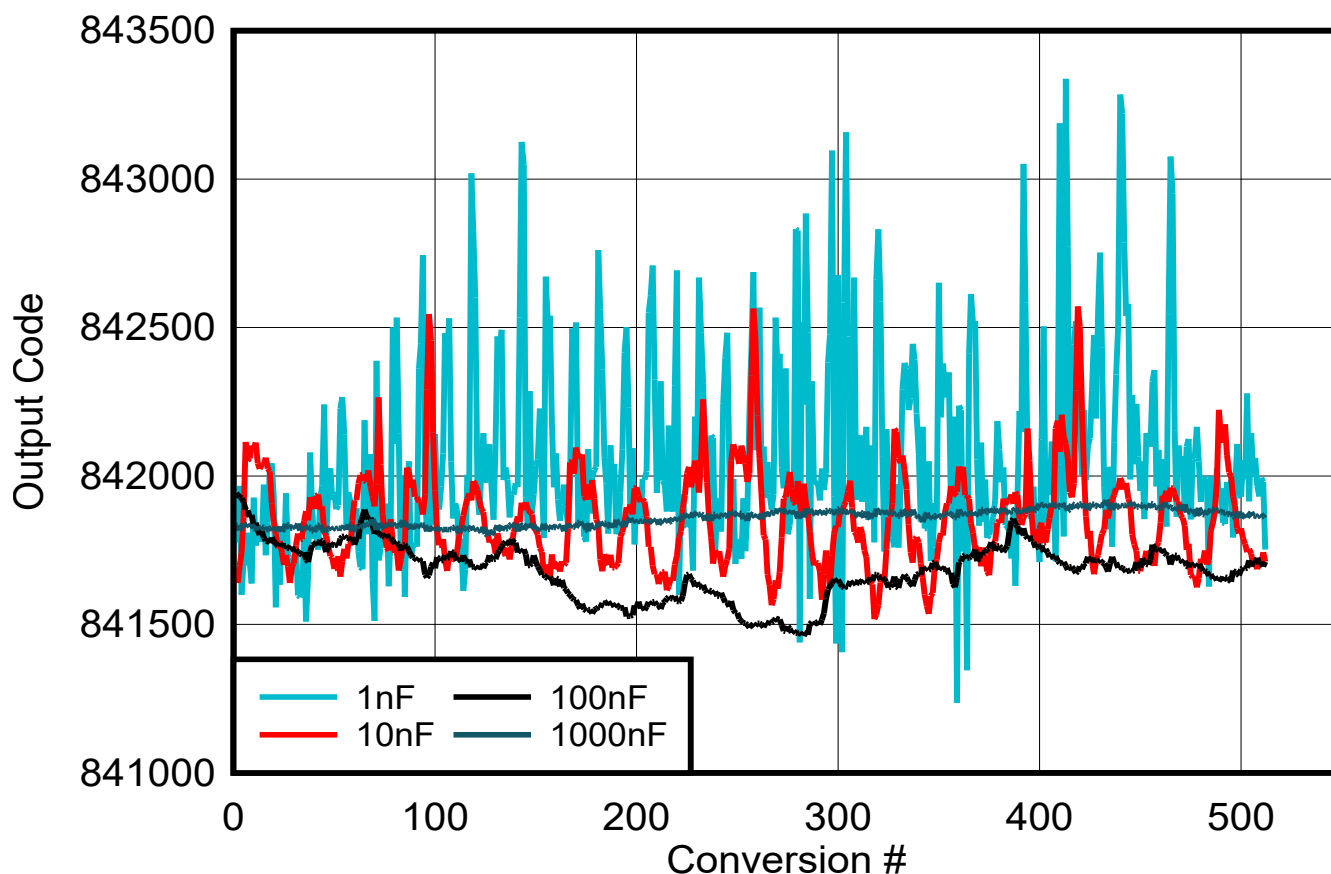


図 2-27. 異なる入力容量値における ADC コードの動作 (差動入力、OWCS 無効、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$)

図 2-27 は、入力容量が大きくなるにつれてノイズの拡散が減少することを定性的に示しています。具体的には、入力容量 = 1nF の場合の RMS ノイズは 265.39 コードであるのに対し、入力容量 = 1000nF の場合の RMS ノイズはわずか 16.97 コードです。設計者は、入力コンデンサによるノイズ低減の利点と、コンデンサのセリングによって生じる課題とのバランスに注意する必要があります。

2.3.2.3.1 入力容量を使用した双方向の差動 OWCS 測定

差動入力における入力容量が OWCS 性能に与える影響については、OWCS 測定を行う順序も追加で考慮する必要があります。具体的には、連続測定では、OWCS が無効になっていてもセリング動作が発生する場合があります。例として、連続測定では次のシーケンスが使用されると仮定します：

1. OWCS をオフにして AIN(n)-RESN を測定します
2. OWCS をオンにして AIN(n)-RESN を測定します
3. OWCS をオフにして AIN(n+1)-RESN を測定します
4. OWCS をオンにして AIN(n+1)-RESN を測定します

ユーザーは、ステップ 1 と 3 では図 2-27 に示す安定した動作が見られ、ステップ 2 と 4 では図 2-25 に示すセリング動作が見られると予想するかもしれません。ただし、差動入力容量はステップ 2 が完了しても充電を保持し続け、ステップ 3 もセリング動作を示します。図 2-28 に、AIN12 と AIN13 の間の差動 OWCS 測定の四つのステップすべてにおいて ADC 出力コードを示します。この場合、 $R_{SOURCE} = 100k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF です：

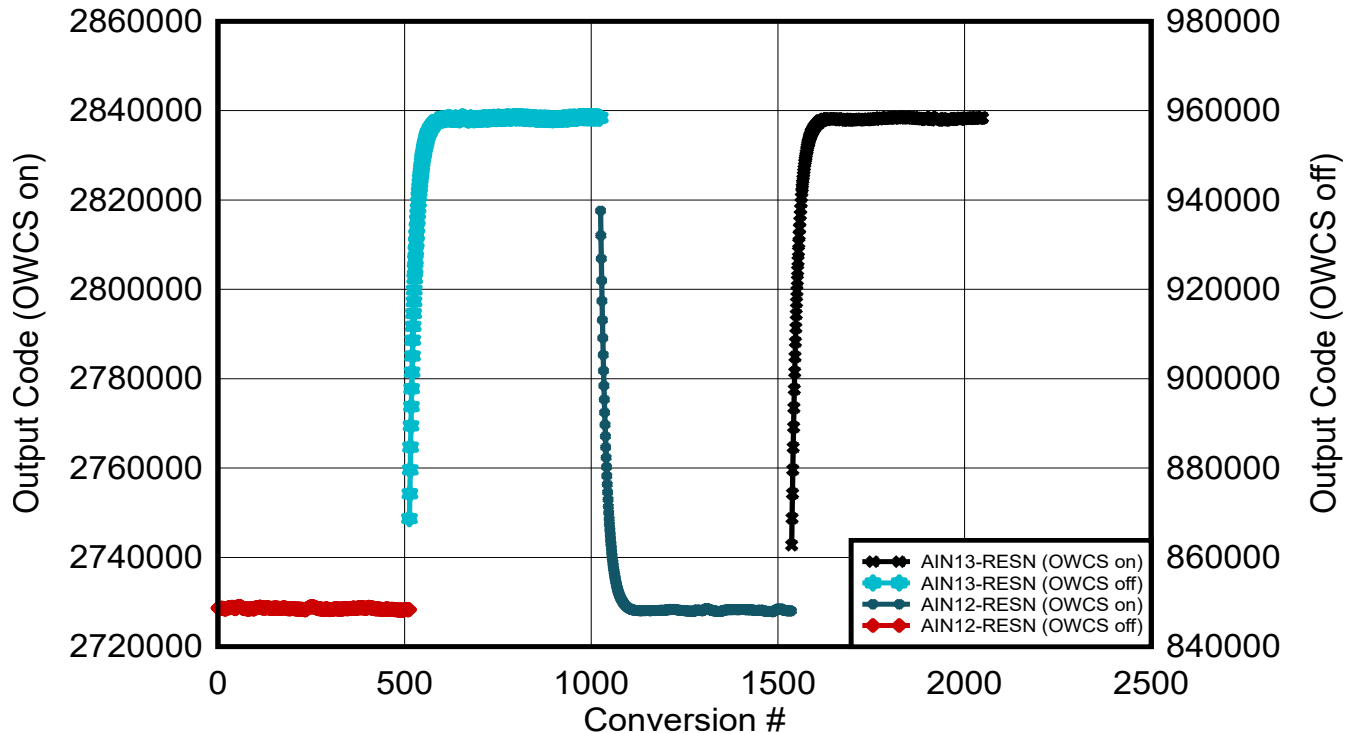


図 2-28. バック ツー バック OWCS 測定における ADC コード動作 (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF)

図 2-28 は、ステップ 1、2、および 4 で予想される動作を示しています。ステップ 1 ではコードが安定し、ステップ 2 および 4 ではセリング動作が見られます。ただし、ステップ 3 では OWCS が無効であるにもかかわらずセリング動作が見られます。これは、ステップ 2 で入力コンデンサに蓄積された電荷が放電するまでに、同程度の時間を要するためです。ユーザーは、[セクション 2.3.2.4](#) に示す手法を使用することで、このセリング動作を回避または低減できます。

2.3.2.4 差動入力のセリングの影響を軽減するための ADS125H18 プログラマブル遅延の使用

ADS125H18 にはプログラマブル遅延機能が内蔵されており、ADC が変換を開始する前に、外部回路のセリング動作が安定するまで待機するために使用できます。この遅延は、変換 START 後の最初の変換前、および ADC シーケンサが動作している場合は各新規シーケンス ステップの開始時に発生します。遅延値は 0 ~ 65535 変調器周期 t_{MOD} の範囲内で、ステップごとに個別にプログラムできます。

例えば、[式 15](#) および [式 16](#) は、 $f_{MOD} = 12.8MHz$ の場合の 1 t_{MOD} の時間 (μs) と、1ms の遅延に必要な t_{MOD} 周期数をそれぞれ算出します：

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

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

図 2-29 に、ADS125H18 データ準備完了 (DRDY) 信号のロジックアナライザ キャプチャを黄色で示します。DRDY は、新しいデータを ADC からクロック出力できる状態になったことを示します。DRDY パルス間の時間は、サンプル間の変換レイテンシを示します。緑色のボックスは、ADS125H18 シーケンサが自動的にステップ 1 (OWCS 無効) からステップ 2 (OWCS 有効) に遷移し、変換を開始するタイミングを示しています。ADC は sinc4 フィルタを使用し、 $ODR = 12.5kSPS$ で動作します。また、 $DELAY = 0$ に設定されているため、最初の変換レイテンシは約 320 μs となり、赤色で示されています。青色のボックスは、それ以降のすべての変換結果が $1/ODR$ の間隔で得られることを示しています。

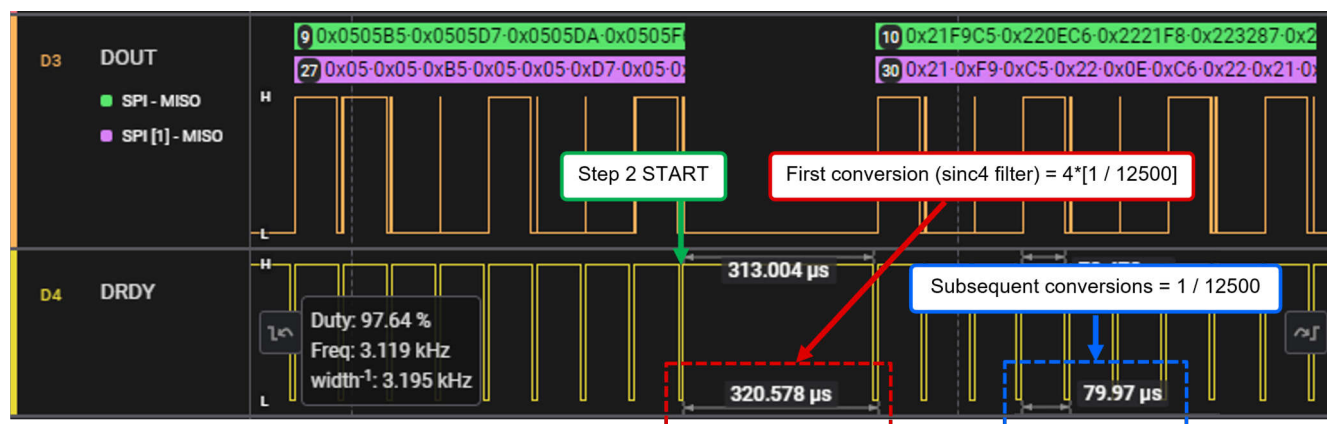


図 2-29. プログラマブル遅延 = 0d における ADS125H18 の DRDY タイミング (差動入力、Sinc4 フィルタ、ODR = 12.5kSPS)

比較すると、図 2-30 は図 2-29 と同じ動作を示しますが、DELAY = 12800 (1ms) に設定されています。赤色で強調されたボックスは、その結果、最初の変換レイテンシが 1ms 長くなることを示しています。後続の変換レイテンシ (青色) は変更されません。

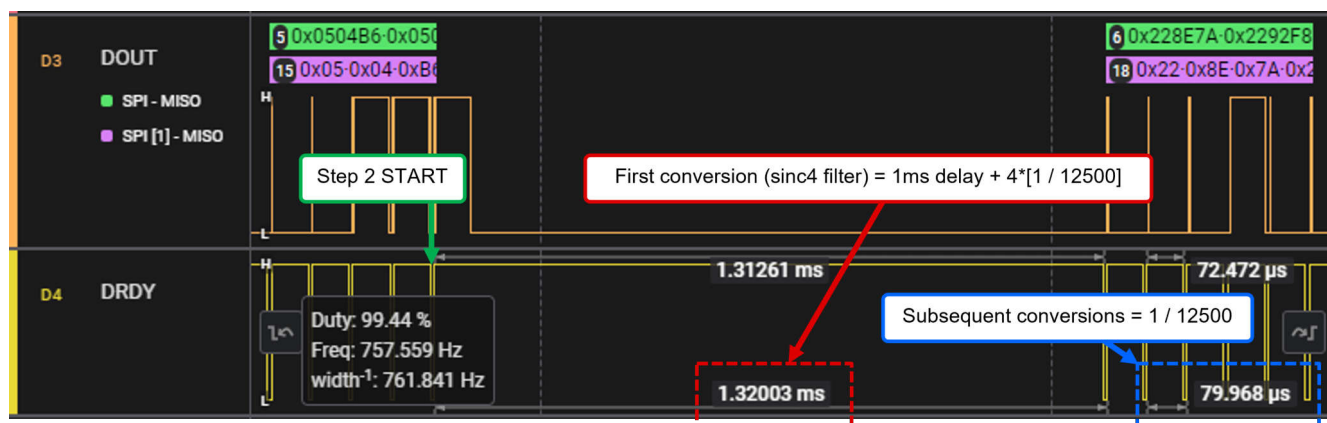


図 2-30. プログラマブル遅延 = 12800d における ADS125H18 の DRDY タイミング (差動入力、Sinc4 フィルタ、ODR = 12.5kSPS)

重要なのは、遅延機能は ADC のサンプリング処理のみを遅延させるため、シーケンサは「ステップ 2 START」の時点で直ちに OWCS 機能を有効にするという点です。この遅延により、ADC の変換処理が開始される前に OWCS 機能がセトリングするための時間を追加で確保でき、より高精度な測定が可能になります。表 2-15 に、二つの遅延値について、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF のときの測定結果と予測結果を比較します: 0ms および 1ms

表 2-15. プログラマブル遅延 = 0ms および 1ms における $OWCS_{Delta}$ の測定値と予測 R_{SOURCE_OWCS} (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF)

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

表 2-15 に示すように、プログラム可能な遅延を使うと、 R_{SOURCE} の実際の値と予測値との間の誤差を約 8% 低減できます。この遅延により、ADC がコンデンサの充電動作や、より定常状態の動作を捕捉できるようになるため、より安定した測定が行えます。図 2-31 に、表 2-15 に示す 512 回の変換で平均化された単一の値ではなく、 $OWCS_{Delta_Diff}$ 値をポイント単位でプロットし、この動作を示します。図 2-31 は、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、 $ODR = 12.5kSPS$ 、入力容量 = 10nF、遅延値が次の二つの異なる値を使用します: 0ms および 1ms

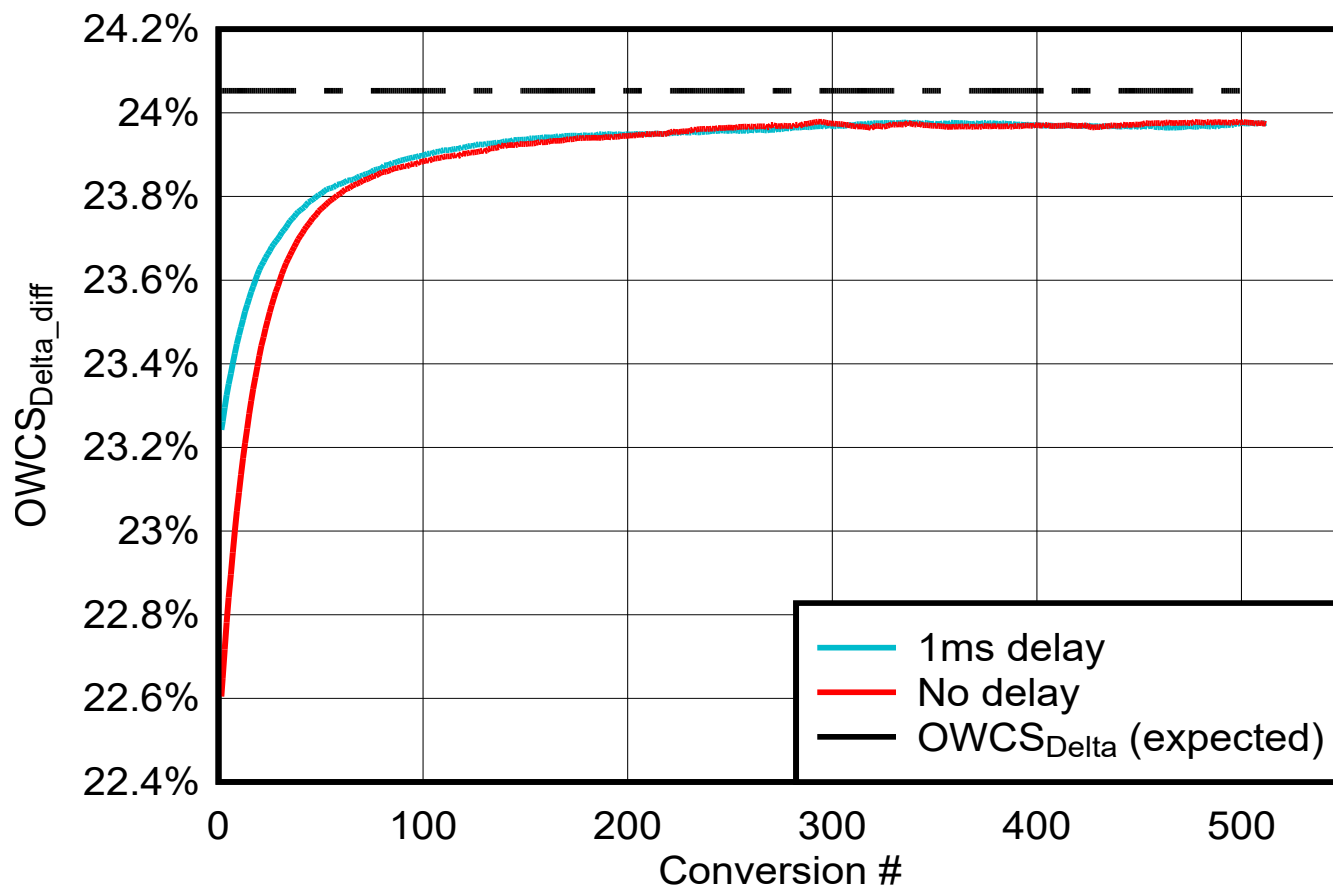


図 2-31. プログラマブル遅延 = 0ms および 1ms における $OWCS_{Delta}$ の動作 (差動入力、 $R_{SOURCE} = 800k\Omega$ 、入力容量 = 10nF、 $ODR = 12.5kSPS$)

図 2-31 は、プログラマブル遅延によって初期のコンデンサ充電動作の大部分を回避し、平均 $OWCS_{Delta}$ 値を期待値により近づけられることを示しています。遅延時間をさらに長くすることで、この動作をさらに改善できる可能性があります。最後に、特定の ODR および入力容量パラメータセットについて、特定の遅延時間が $OWCS$ の性能にどのように影響するかを示します。これらのシステム パラメータのいずれかをユーザーが変更する場合は、別の遅延値が必要になることがあります。

2.4 ADS125H18 チャンネル シーケンサを使用して OWCS アルゴリズムを実装

ADS125H18 は、ADC との通信を簡素化する高機能なチャンネル シーケンサを搭載しています。シーケンサは、同じページ、つまりステップの複数のコピーを使用することで、最大 32 種類の異なる (揮発性) 測定設定を保存できます。ステップごとに設定可能なパラメータの例として、異なる入力チャンネル、監視機能、出力データレート、変換回数、GPIO 設定、変換 START 遅延などがあります。シーケンサは次に有効なステップへ自動的に移行するため、以下のガイドラインに従うことで、ADS125H18 のチャンネル シーケンサを使用して OWCS アルゴリズムの実装を大幅に簡素化できます：

- 対象信号の測定に費やす時間を最大化するため、OWCS を有効にする頻度を低くします。例えば、各測定サイクル全体の最後に OWCS を有効にします
- 他の測定に使用できるステップ数を最大化するため、シングル エンド入力一つの断線検出には二ステップ、差動入力一つの断線検出には四ステップをそれぞれ確保します
- OWCS の計算では、OWCS が無効の場合と有効の場合で入力信号が一定に保たれていることを前提としているため、OWCS 測定には連続するステップを選択します。OWCS 無効時の測定と OWCS 有効時の測定の間に追加の遅延があると、しきい値の計算が不正確になる可能性があります
- 一つのシーケンスですべての入力ステップおよび監視ステップをスキャンします。前述の二つのステップまたは四つのステップを使用して、1 シーケンスあたり一回の OWCS チャンネルをスキャンします。各シーケンスの完了後に、OWCS ステップの測定チャンネルを次のチャンネルへ切り替えます
- 各シーケンスの完了後に OWCS ステップを再設定する必要があるため、シーケンサはシングル シーケンス モードで動作させます

図 2-32 に、以下のガイドラインに従って ADS125H18 シーケンサの設定方法を示します：

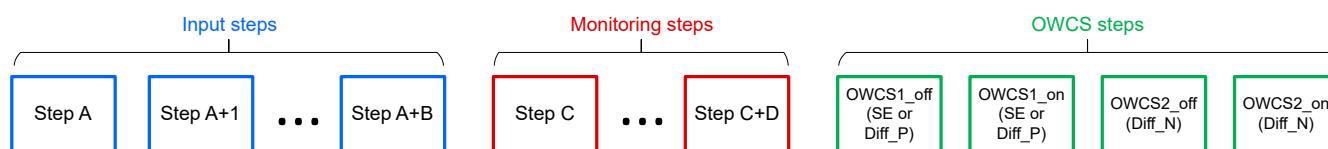


図 2-32. OWCS アルゴリズムを実装するための推奨シーケンサ ステップ構成

図 2-32 には、OWCS アルゴリズムの実装に不可欠な重要な機能がいくつかあります：

- ADS125H18 シーケンサは、有効なステップを常に昇順で測定するため、ステップ番号が左から右へ単調に増加するようにします。つまり、最初の入力ステップ (「ステップ A」) のステップ番号は、次の入力ステップ (「ステップ A + 1」) よりも小さくし、ステップ A + B は、最初の監視ステップ (「ステップ C」) よりも小さくする必要があります
- ADS125H18 シーケンサは、有効なステップでのみインデックスを作成するため、このステップを連続する必要はありません。たとえば、ユーザーはステップ 1、3、27 を入力として選択できます。この動作は、次のセクションの例でも示しています
- シーケンスの最後に緑色で表示されている二つまたは四つの OWCS ステップを必ず設定します
- シングルエンド入力では、緑色で示す左端の二つの OWCS ステップのみを使用し、差動入力では四つすべての OWCS ステップを使用します
- OWCS アルゴリズムは青色の入力ステップにのみ適用されます。図 2-32 は、一般的な診断には有用ですが、OWCS 機能では使用できない監視ステップを赤色で示しています。したがって、OWCS アルゴリズムを実装するためのモニタリング手順は厳密には必要ありません。

2.4.1 例:OWCS アルゴリズム用の ADS125H18 シーケンサの構成

図 2-33 に、入力信号と監視信号の両方を測定するシステム例を示します：

- 青色で示す五つの入力チャンネル、シングル エンドおよび差動の電圧入力と電流入力を組み合わせで構成されています
- 温度、AVDD、IOVDD を含め、赤で示した三つの監視チャンネル

さらに、図 2-33 では、ADS125H18 OWCS 機能と関連するマルチプレクサを緑色で強調しています：

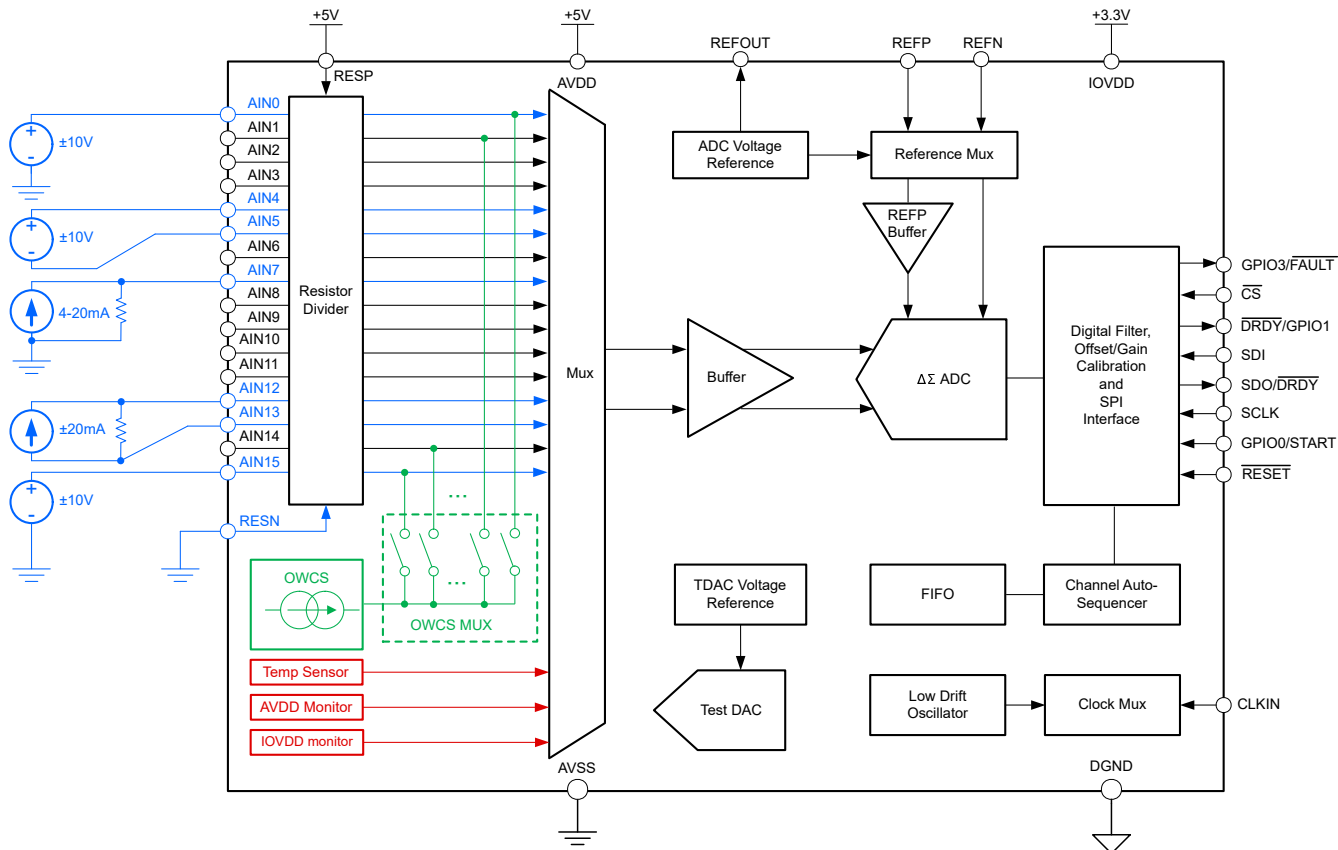


図 2-33. OWCS アルゴリズムの ADS125H18 入力接続の例

図 2-34 は、図 2-32 に示す形式を使用して、図 2-33 のシステム例に対するシーケンサの設定方法を示しています。図 2-34 に示すすべての情報は ADS125H18 シーケンサに保存でき、この例では任意に選択しました。

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

図 2-34. OWCS アルゴリズムのシーケンサ ステップの例

図 2-34 を次のように解釈します:

- 行 1 = そのステップに使用されるステップ番号
- 行 2 = そのステップで測定されたチャンネル
- 行 3 = そのステップで測定する変換の数。
- 行 4 = そのステップで OWCS が有効 (オン) か無効 (オフ)

たとえば、ステップ 13 では、入力 AIN15 と RESN の間の十回の変換を測定します。ADS125H18 のシーケンサでは、ステップごとに他の多くのパラメータを設定できます。ただし、これらのパラメータは必ずしも OWCS アルゴリズムに関連するものではないため、本書ではこれ以上説明しません。

また、図 2-34 は緑色の OWCS ステップの「チャンネル」が決定される (未定) ことも示しています。これらの設定はシーケンスごとに変化するため、初期状態では TBD とします。ただし、入力ステップと監視ステップは変更されません。図 2-35 は、最初のシーケンスにおける OWCS ステップの設定方法を示しています。一番目と二番目の OWCS ステップ (それぞれ #25 と #26) は、最初のシーケンス ステップ (#4) で使用されるチャンネルと同じであるため、どちらも AIN0-RESN に設定されています。最初のシーケンス ステップの重要な設定は、黄色で強調表示されます。

Sequence 1

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	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

Total conversions = 129

図 2-35. 例:シーケンス 1 の特性

スタートビットを設定するか、START ピンをトグルしてシーケンサを開始します。ADS125H18 シーケンサは、図 2-35 の各ステップを左から右へインデックス付けし、合計 129 個の変換を測定します。ユーザーは、各入力ステップおよび監視ステップから得られる情報の使用方法を決定するとともに、OWCS スレッシュホールドを算出する必要があります。

必要に応じて、次のシーケンスを開始する前に OWCS ステップを再設定します。図 2-36 は、二番目のシーケンスにおける OWCS ステップの設定方法を示しています。一番目と二番目の OWCS ステップ (それぞれ #25 と #26) はどちらも AIN4-RESN に設定され、三番目と四番目の OWCS ステップ (それぞれ #27 と #28) はどちらも AIN5-RESN に設定されています。これらの設定が必要なのは、二番目のステップ (#7) では差動入力を測定しますが、OWCS 機能では常にシングル エンド チャンネルを測定する必要があるためです。二番目のシーケンス ステップの重要な設定は、黄色で強調表示されます。

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

図 2-36. 例:シーケンス 2 の特性

再度、スタートビットを設定するか、START ピンをトグルしてシーケンサを開始します。ADS125H18 シーケンサは、図 2-36 の各ステップを左から右へインデックス付けし、最後の二つの OWCS ステップがこのシーケンスで有効化されているため、合計 153 回の変換を測定します。ユーザーは、入力ステップおよび監視ステップから得られる情報の使用方法を

決定するとともに、各シングル エンド入力の **OWCS** スレッシュホールドを算出する必要があります。理想的には、これは差動測定であるため、**AIN4-RESN** について算出された **OWCS** 結果は、**AIN5-RESN** の **OWCS** 結果と同一になるはずで

す。

図 2-37 は同じロジックに従い、次の三つの各シーケンスを開始する前に **OWCS** チャネルを再設定して、青色で示すすべての入力ステップのチャネルについて断線を解析する方法を示しています。シーケンスごとの重要な設定は、黄色で強調表示されます。

Sequence 3

	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Step #											x = don't care	
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

Total conversions = 129

Sequence 4

	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Step #											x = don't care	
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

Total conversions = 153

Sequence 5

	4	7	10	11	13	16	21	22	25	26	27	28
Step #											x = don't care	
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

Total conversions = 129

図 2-37. 例:シーケンス 3 から 5 の特性

シーケンス 5 の完了後、OWCS を使用してすべての入力ステップチャンネルでワイヤ破損があると診断されました。この時点で、図 2-35 に示すように OWCS チャンネルを再設定し、最初の入力ステップチャンネルに戻り、プロセス全体を再起動する必要があります。次に、ユーザーは実行するシーケンスの総数と、断線を検出した場合の処理方法を決定します。

2.4.2 ADS125H18 サンプルコードにおける OWCS アルゴリズムの理解

ADS125H18 製品フォルダには、「ソフトウェア開発」セクションに、ADS125H18EVM を MSPM0G3507 Launchpad に接続するために設計およびテストされたサンプルコードが含まれています。表 2-16 に、ADS125H18EVM と MSPM0 Launchpad の間に必要なハードウェア接続を示します。これらを使用して、コードを意図したとおりに動作させることができます。

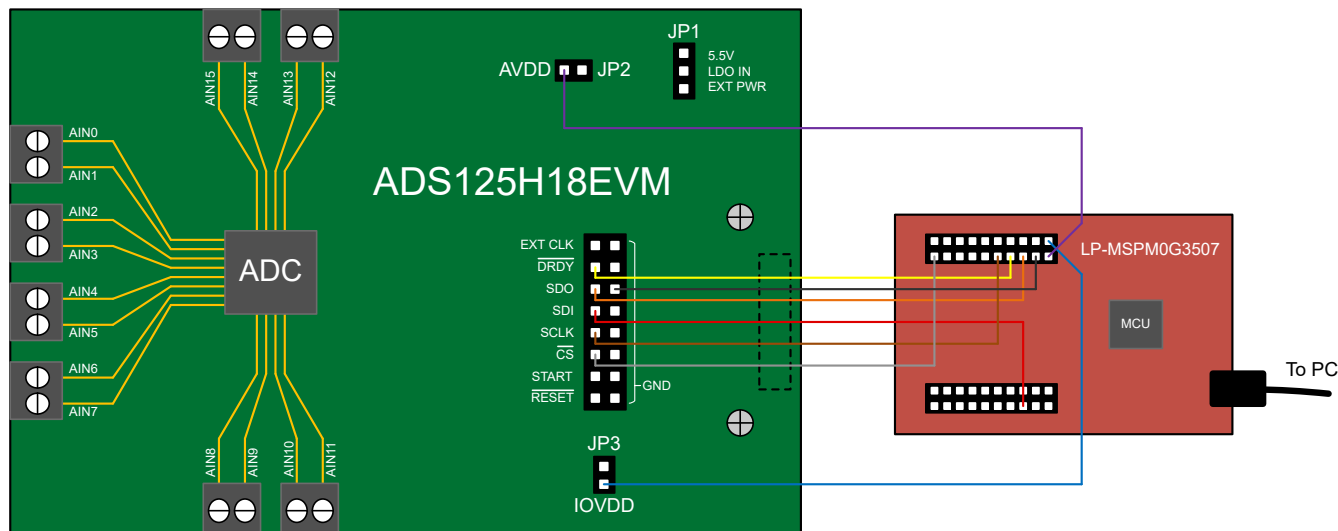


図 2-38. ADS125H18EVM と LP-MSPM0G3507 の接続図

表 2-16 に、二つの基板間の接続を示します：

表 2-16. ADS125H18EVM と LP-MSPM0G3507 の間のピン名とピン番号の接続

ADS125H18EVM		LP-MSPM0G3507	
ピン名	ピン番号	ピン名	ピン番号
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 サンプルコードには、[セクション 2.4](#) のガイドラインに基づいた OWCS アルゴリズムが含まれています。[図 2-39](#) に、シーケンサ動作のフローチャートを示します。このフローチャートは、初期化と変換とデータ処理の二つの一般的なセクションに分類できます。

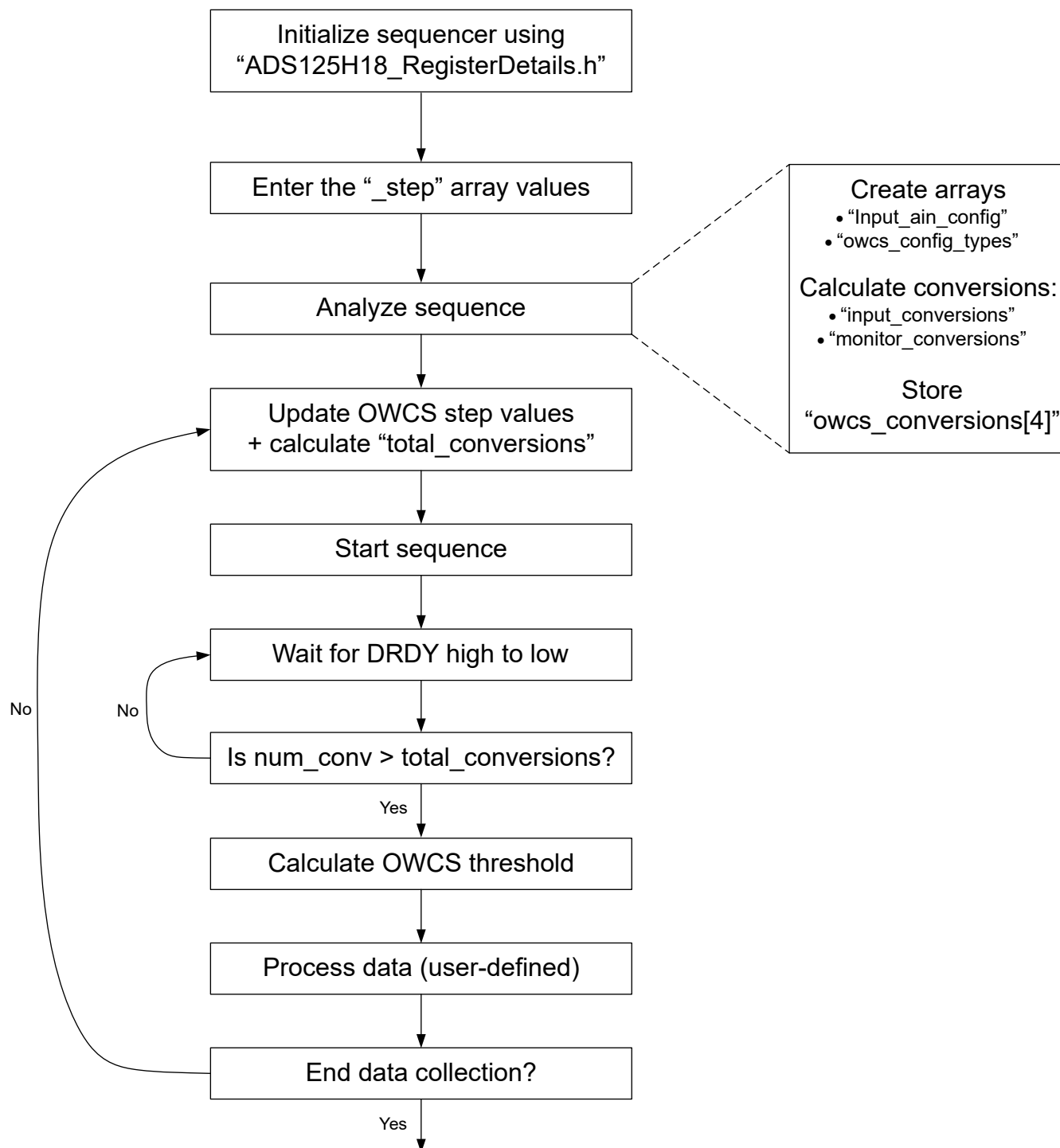


図 2-39. OWCS アルゴリズムのフローチャート

以降のセクションでは、フローチャートの各ステップのユーザー要件とアルゴリズム動作について詳しく説明します。

2.4.2.1 初期化

OWCS アルゴリズムでは、以降のコードを正しく実行するために、ユーザーから提供された一部の情報を解析して保存する必要があります：

- 「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルを使用したシーケンサの初期化 (ユーザー)
- 「_step」配列の入力 (user)
- retrieveStepConfig() 関数を使用したシーケンスの解析 (アルゴリズム)

以下のサブセクションでは、これらの処理についてさらに詳しく説明します：

2.4.2.1.1 シーケンサの初期化

サンプルコードプロジェクトを目的の統合開発環境 (IDE) にインポートした後、Driver フォルダを見つけます。図 2-40 に、テキサス インストルメンツの Code Composer Studio IDE を使用した Driver フォルダの内容を示します。「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルがハイライトされています。

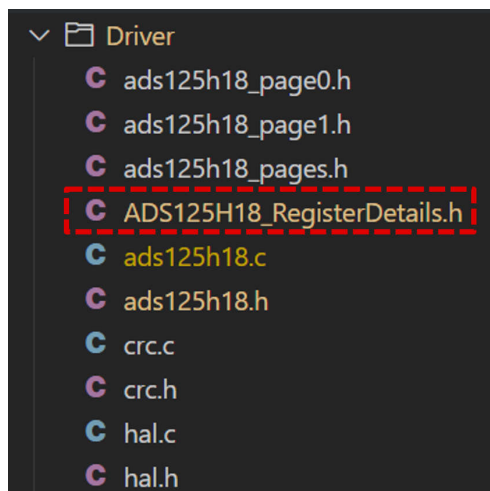


図 2-40. OWCS コードプロジェクトのドライバフォルダ

「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルに、目的のアプリケーションに適した構成設定が含まれていることを確認します。ユーザーは、これらの設定をファイルに手動で入力するか、図 2-41 に示すオンライン シーケンサ設定ツールを使用できます。シーケンサ構成ツールは、ADC-DESIGN-CALC の一部であり、ADS125H18 製品フォルダの「設計ツールとシミュレーション」セクションにあります。

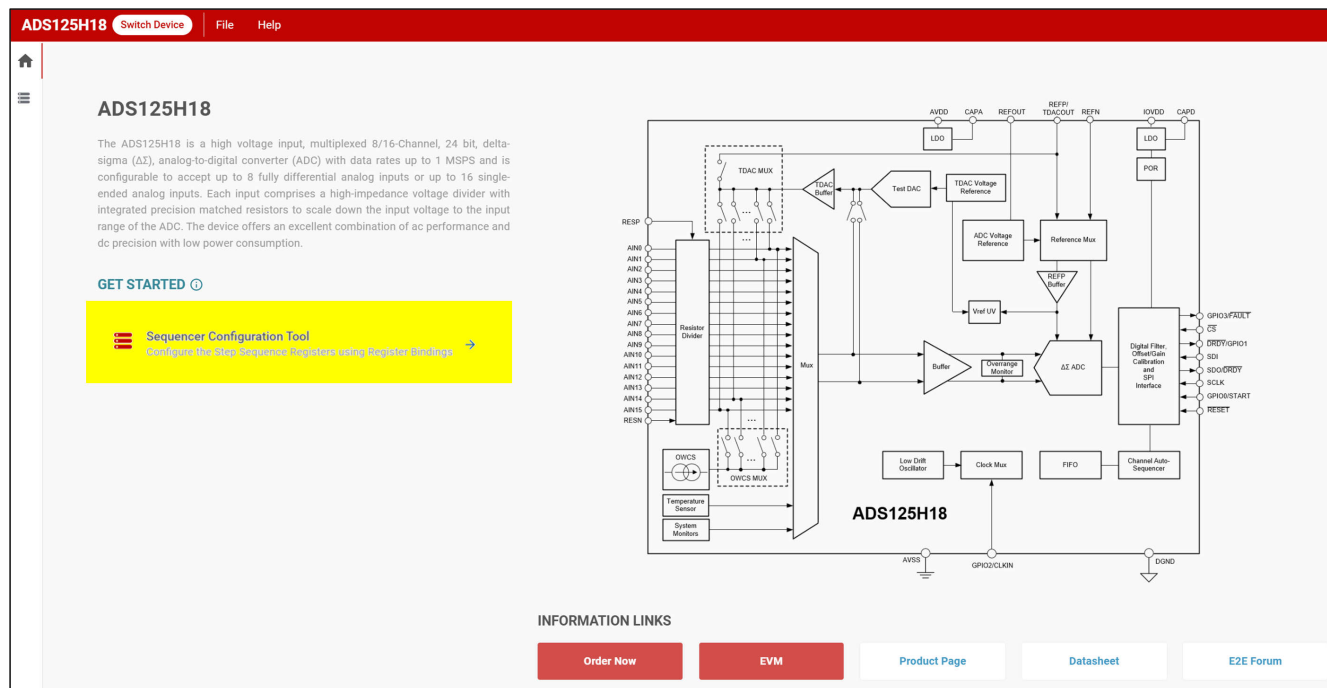


図 2-41. ADS125H18 オンライン カリキュレータ ホームページ

シーケンサ構成ツールは、ADS125H18 シーケンサ設定を選択するよう指示します。図 2-42 に、ツールの「クロックの構成」ページの例を示します。このページでは、ユーザーが内部発振器または外部発振器、ADC 速度モード、外部発振器の特性を選択できるようになります。

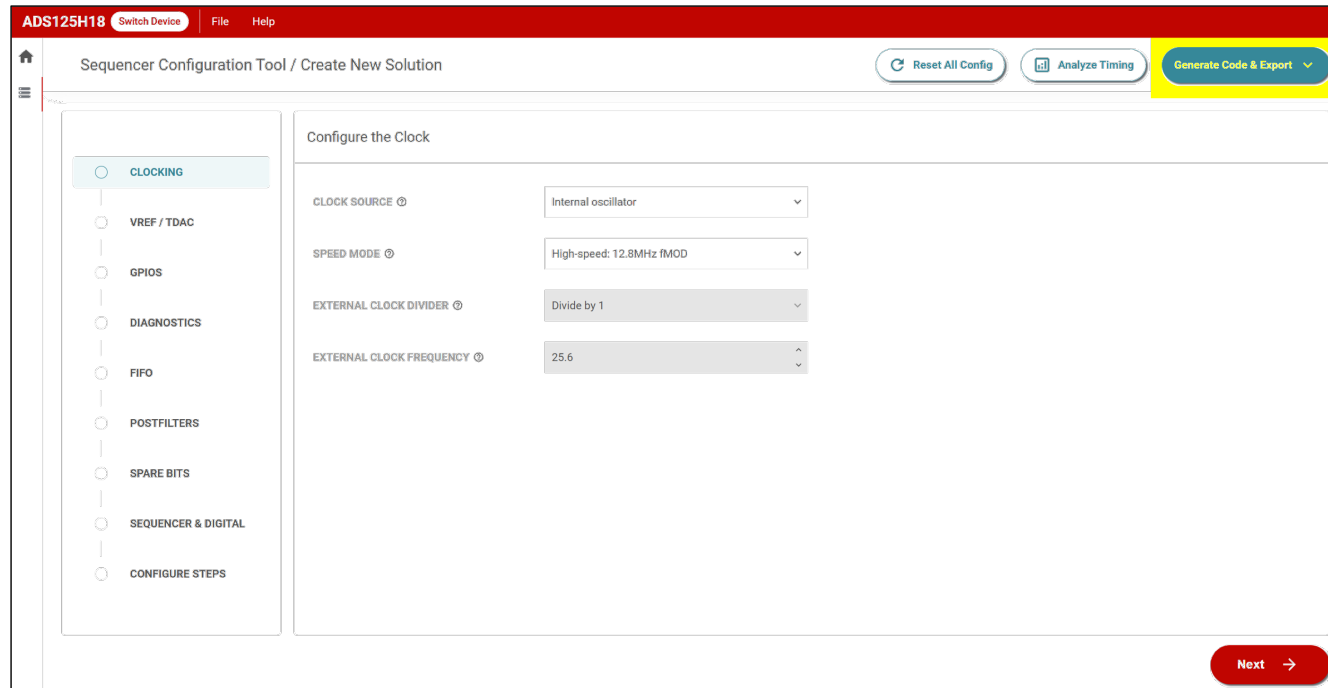


図 2-42. ADS125H18 オンラインカリキュレータに収録されているシーケンサ構成ツール

図 2-42 は、ユーザーが右上の「Generate Code & Export」(コードの生成とエクスポート) ボタンを使用して、選択したすべての設定をエクスポートする方法も示します。このボタンをクリックすると、すべてのレジスタ設定またはデフォルト以外のレジスタ設定のみに対するヘッダ ファイルが生成されます。「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルの内容を、生成されたヘッダ ファイル出力に置き換え、シーケンサを初期化します。

2.4.2.1.2 「_step」配列の値の入力

ユーザーは、「input_steps[]」、「monitor_steps[]」、および「owcs_steps[]」配列に正しい値を入力する必要があります。これらのアレイに入力される値は、前のセクションでプログラムされた手順と一致している必要があります。例えば、「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルでステップ 0、ステップ 2、およびステップ 4 が入力チャネル ステップとして設定されている場合は、input_steps[] = {0, 2, 4} と設定します。また、OWCS アルゴリズムの実装に監視ステップは必須ではないため、「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルで監視ステップが有効になっていない場合は、monitor_steps[] を空の配列にすることができます。

図 2-43 に、コード内のこれらの配列を示します。具体的には、図 2-43 は、図 2-34 に示すシーケンサの例に合わせて配列値を入力する方法を示しています。

```
// 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
```

図 2-43. OWCS コードでのステップ配列の定義

2.4.2.1.3 シーケンスの解析

retrieveStepConfig() 関数は、「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイル内の情報を解析して、シーケンスのプロパティを決定します。具体的には、アルゴリズムは次を識別して保存する必要があります：

- 各入力ステップの入力チャネル (「input_ain_config[]」)
- 各入力ステップがシングルエンド入力または差動入力のどちらを測定するか (「owcs_config_types[]」)
- すべての入力ステップにおける変換の合計数 (「input_conversions」)
- すべての監視ステップにおける変換の合計数 (「monitor_conversions」)
- 各 OWCS ステップの変換回数 (「owcs_conversions[4]」)

アルゴリズムはこの情報を使用して、新しいシーケンスが開始されるたびに OWCS ステップを再設定します

2.4.2.2 シーケンサの起動と処理データ

OWCS アルゴリズムは、ADC 変換を開始するとともに、processOWCSMeasurements() 関数を使用したデバイスの初期化後にデータを収集して処理します。この関数は、次の操作を実行します:

- OWCS ステップに書き込みを行い、次の入力チャネルに変更します
- 変換の総数を再計算します
- シーケンサを起動します
- 適切な変換数を実行します
- 予測された R_{SOURCE_OWCS} 値を返すための OWCS ステップ データを処理します

以下のサブセクションでは、これらの動作についてさらに詳しく説明します:

2.4.2.2.1 OWCS ステップ値を更新し、「total_conversions」を算出する

processOWCSMeasurements() 関数の最初のステップでは、最初の二つの OWCS ステップを適切な入力チャネルに設定し、そのシーケンスの変換回数を算出する必要があります。図 2-44 は、最初の OWCS ステップ (OWCS 無効) と二番目の OWCS ステップ (OWCS 有効) に対する二つのレジスタ書き込み、および OWCS がシングルエンド入力で動作することを前提とした「total_conversions」変数の算出方法を示しています。

```
// 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));
}
```

図 2-44. OWCS コードでの OWCS ステップ値の更新と合計変換の計算

図 2-44 は、OWCS が差動入力で動作する場合に、三番目の OWCS ステップ (OWCS 無効) と四番目の OWCS ステップ (OWCS 有効) に対する 2 つの追加レジスタ書き込み、および「total_conversions」の再計算を含む「if」文も示しています。この動作が必要な理由について視覚的に理解するには、図 2-36 を参照してください。

また、OWCS アルゴリズムでは三番目と四番目の OWCS ステップを無効にすることはありません。代わりに、OWCS がシングルエンド入力で動作する場合は、これらのステップのデータを保存しないだけです。これらのステップを使用していないときは、アルゴリズムを変更して無効にすることができます。

2.4.2.2.2 シーケンサを起動し、データを取得する

processOWCSMeasurements() 関数の次のステップでは、ADC 変換を開始し、データ準備完了 ($\overline{\text{DRDY}}$) ピンが High から Low に遷移するのを待ってから、各データを配列に格納します。図 2-45 は、ルーチンが「total_conversions」に等しい数の変換をキャプチャし、結果を「all_sequences_data」配列に保存するまで、この関数がどのように実行されるかを示しています。

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

図 2-45. シーケンサを起動し、OWCS コードでデータを取得する

collectADCData() 関数は、各変換後に $\overline{\text{DRDY}}$ ピンが High に切り替わると想定したデータ キャプチャ割り込みを使用することに注意してください。ただし、ADS125H18 を使用すると、ユーザーは SEQUENCER_CFG レジスタの DRDY_CFG ビットを使用して、異なる $\overline{\text{DRDY}}$ 動作を設定することができます。たとえば、各変換ではなく各シーケンスが完了した後、 $\overline{\text{DRDY}}$ ピンを設定して High から Low に切り替えることができます。これらのデフォルト以外の $\overline{\text{DRDY}}$ ピンのオプションは、ADS125H18 の先入れ先出し (FIFO) バッファと組み合わせて使用することを目的としています。「ADS125H18_RegisterDetails.h」ファイルで、デフォルト以外の $\overline{\text{DRDY}}$ ピンのオプションが選択されている場合は、OWCS アルゴリズムを適宜変更します。詳細については、[ADS125H18 データシート](#)を参照してください。

2.4.2.2.3 OWCS データの処理

processOWCSMeasurements() 関数の最後のステップでは、OWCS データを処理してスレッショルド値 (delta) を決定し、R_{SOURCE_OWCS} を予測します。図 2-46 は、この最後のステップが、主に三つの動作に分割されることを示しています:

1. calculateStepAverage() を使用して、各 OWCS ステップで収集されたすべてのデータの平均値を計算します
2. 式 1 を使用して、OWCS delta を計算します
3. OWCSgetRsource() 関数を使用して R_{SOURCE_OWCS} を計算します

```
// 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));
}
```

図 2-46. OWCS コードでの OWCS データの処理

OWCSgetRsource() 関数は、式 8 の修正されたバージョンを使用して、測定された OWCS スレッショルドからシングルエンド R_{SOURCE_OWCS} 値を予測します。式 17 では、RB、RA、および I_{OWCS_NOM} の各項が、選択した ADS125H18 バリエーションに対して既知の一定値であるため (表 2-1 を参照)、これらの項の代わりに固定係数を使用します:

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

図 2-47 に、OWCS.h ファイルのシングルエンド A、B、C 係数のルックアップ テーブルを、さまざまな ADS125H18 バリエーションの関数として示します:

```
/* Single-ended variables (Rows: A, B, C, MaxResource) */
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} /* MaxResource */
};
```

図 2-47. OWCS コードのシングルエンド入力参照テーブル

図 2-47 には参照テーブルに MaxResource の値が含まれます。このパラメータは、式 17 で $C = 2 \times \text{OWCS}_{\text{Delta_SE}}$ のときに「ゼロ分周」誤差を回避し、出力を $1\text{G}\Omega$ に制限します。図 2-48 に、変数 A、B、C から R_{SOURCE_OWCS} を予測する単純な関数と、測定された OWCS スレッシュホールドに対応する変数値を示します：

```
/* 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_resource = 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_resource;
    }

    // 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;
}
```

図 2-48. OWCS コードにおけるシングルエンド入力の R_{SOURCE_OWCS} を予測

差動入力に対しても、同じロジックが当てはまります。式 18 は、式 14 の RB、RA、I_{OWCS_NOM} 項の固定係数を使用して、測定された OWCS スレッシュホールドから差動 R_{SOURCE_OWCS} 値を予測します：

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

図 2-49 に、OWCS.h ファイルの差動 A、B、C 係数のルックアップ テーブルをさまざまな ADS125H18 バリエーションの関数として示します：

```
/* Differential variables (Rows: A, B, C, MaxResource) */
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} /* MaxResource */
};
```

図 2-49. OWCS コードの差動入力参照テーブル

図 2-49 には参照テーブルに MaxRsource の値が含まれます。このパラメータは、式 18 の $C = 4 \times \text{OWCS}_{\Delta_{\text{Diff}}}$ 時に「ゼロ分周」誤差を回避し、出力を $1\text{G}\Omega$ に制限します。図 2-50 に、変数 A、B、C から $R_{\text{SOURCE_OWCS}}$ を予測する単純な関数と、測定された OWCS スレッシュホールドに対応する変数値を示します:

```
/* 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;
}
```

図 2-50. OWCS コードにおける差動入力に対する $R_{\text{SOURCE_OWCS}}$ の予測

2.4.2.2.4 OWCS 結果の使用

OWCS アルゴリズムでは、ADC から受信したデータの使用方法を決定するコードを作成する必要があります。図 2-51 に、コード内のユーザー TODO ステートメントを示します

```
/* 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);
}
```

図 2-51. OWCS 結果を処理するためのユーザー指示

たとえば、特定の産業用システムは、断線を検出した後、シャットダウンし、既知の状態にリセットする可能性があります。他のシステムでは、この情報を単に記録して、後でアクションを実行できる場合があります。続行する方法を決定するためにユーザーに任せられます。

また、図 2-51 は、processOWCSMeasurements() 関数が完了した後、ain_index 変数がユーザーが設定した入力ステップ数まで増加する様子を表示します。ain_index 変数は、セクション 2.4.1 で説明し図 2-37 の後に示すように、アルゴリズムが input_ain_cfg[] 配列のすべての要素を順に処理するとリセットされます。

3 まとめ

最新の産業用制御システムでワイヤの破損を検出するには、多くの設計者に大きな課題が生じています。このアプリケーション ノートでは、アナログ入力モジュール向けに設計された高精度 24 ビット、1MSPS のデルタ シグマ ($\Delta\Sigma$) A/D コンバータ (ADC) である ADS125H18 の断線検出電流源 (OWCS) 機能の動作および検証について説明します。このアプリケーション ノートで説明されている主なトピックは、以下のとおりです。

1. シングルエンド入力に対する OWCS 機能の性能解析および検証
2. 差動入力に対する OWCS 機能の性能の分析と検証
3. ADS125H18 チャンネル シーケンサを使用して OWCS アルゴリズムを実装する方法の詳細な説明
4. ADS125H18 サンプル コードにおける OWCS アルゴリズムの概要
5. デュアル冗長システムにおける OWCS 動作の変化

この資料に記載されている情報を使用して、ADS125H18 とその独自の断線検出機能を使用して、堅牢で信頼性の高いアナログ入力モジュールを設計できます。

4 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、[ADS125H18](#)、ADS125H18 デバイスの製品ページ
2. テキサス インスツルメンツ、[ADS125H18EVM-PDK](#)、ADS125H18 評価基板の製品ページ

5 付録 A

5.1 冗長システムでの OWCS の使用

一部の産業用アプリケーションでは、複数の入力モジュールを同じ入力信号に接続する冗長構成が必要です。ADS125H18 を使用する二つの独立したモジュールで同じシングルエンド入力を測定する冗長システムの例を、図 5-1 に示します。

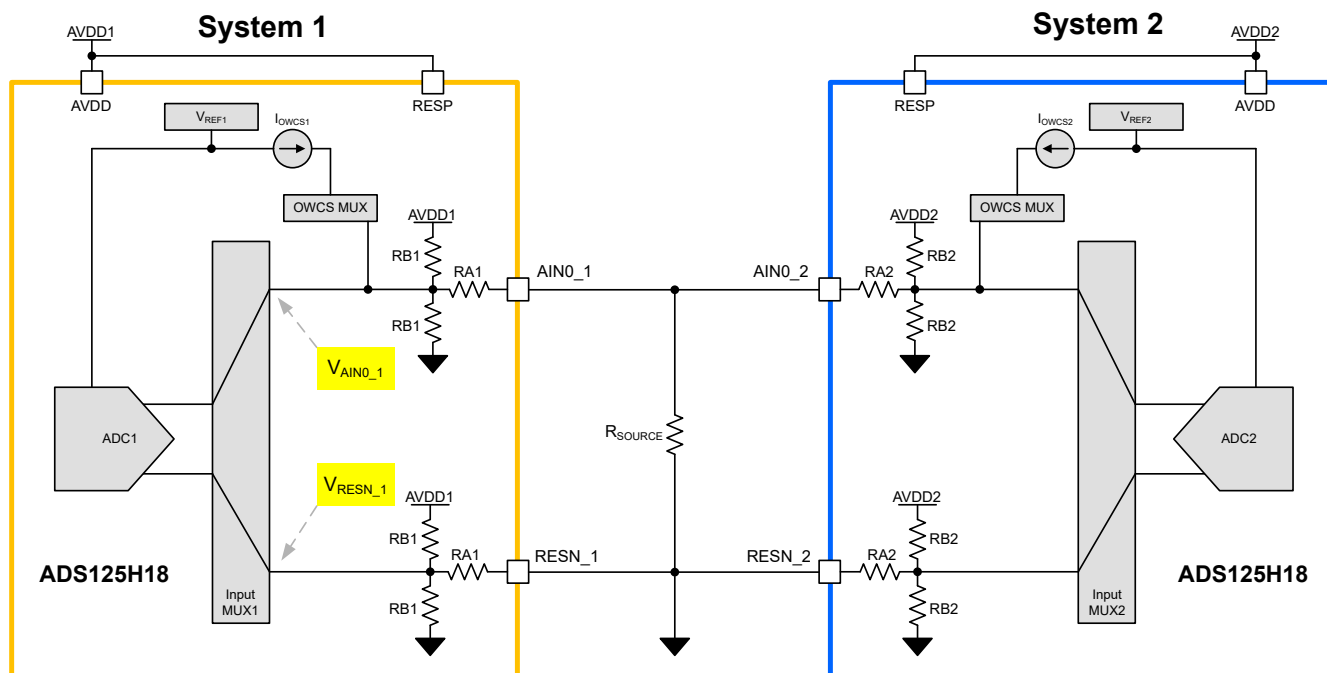


図 5-1. シングルエンド入力で 2 個の ADS125H18 と 2 個の OWCS を使用

冗長化により、二つの独立したシステム間で測定結果を比較し、両方の信号チェーンが正常に動作していることを確認できます。冗長性は、メインシステムにバックアップを提供して、故障発生時に連続的な測定を維持するためにも使用できます。例えば、通常の状態では、ユーザーは図 5-1 に示すシステム 1 を使用する場合があります。ユーザーは、エラーが検出されると、システム 2 に切り替わり、システム 1 の電源をオフにします。その後、システム 2 がコントローラへ途切れることなく測定データを提供している間に、ユーザーはシステム 1 のトラブルシューティングを行います。

しかし、図 5-1 の冗長システムでは、OWCS 機能を使用するときに追加の検討事項が必要になります。電流源は追加の入力抵抗を通して流れる必要があるためです。図 5-2 に、冗長システムで両方の電流源を有効にする方法と、各ソースから ADS125H18 抵抗分圧器を経由して R_{SOURCE} を経由し、グラウンドに電流がどのように流れるかを示します。太い赤い線は、二つの電流源が結合して、 R_{SOURCE} を流れる電流 $= 2 * I_{OWCS}$ となることを示しています。

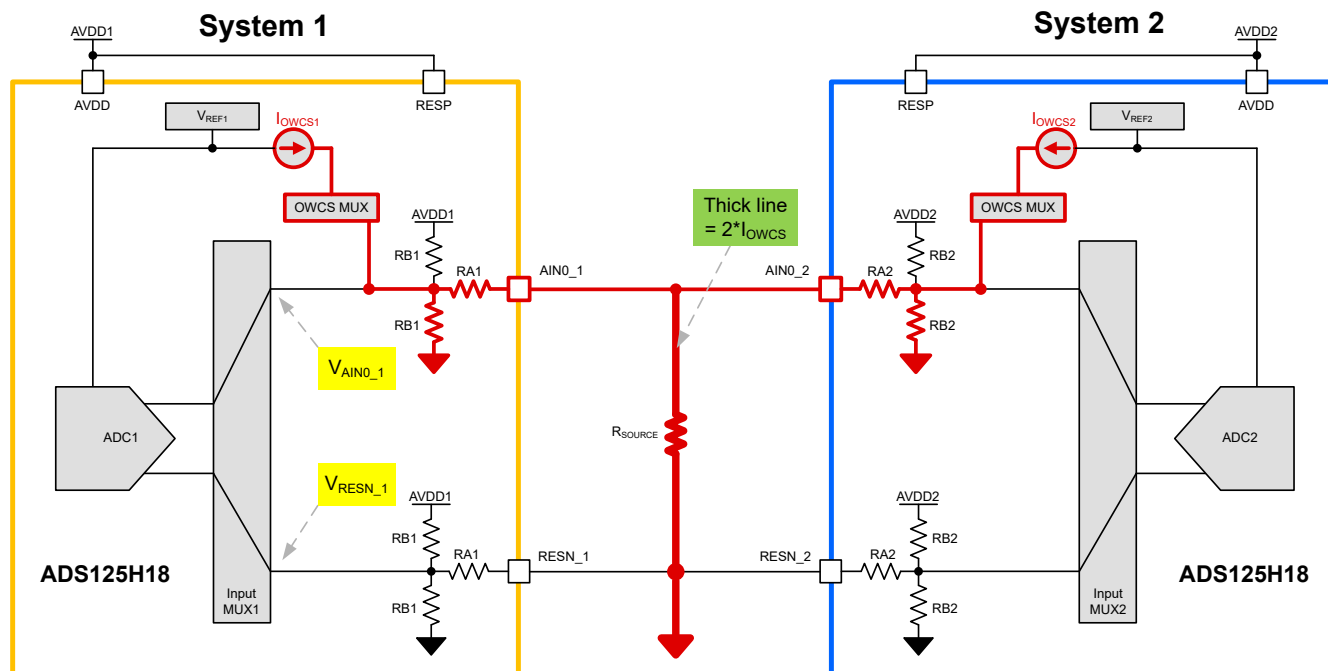


図 5-2. デュアル冗長システム (シングルエンド入力) での OWCS 電流パス

幸いなことに、重ね合わせ解析とノード解析を使用して、図 5-2 に示す冗長系を解析することもできます。デュアル冗長システムには、個別に解析する必要がある五つの信号源があります: システム 1 の二つの電圧源と一つの電流源、およびシステム 2 の一つの電圧源と一つの電流源です。アイドルシステム (2) では、このソースはアクティブなシステム (1) 測定に影響しないため、RESN AVDD ソースを考慮する必要はありません。ただし、この解析は本書全体で説明している原則を拡張したものにすぎないため、本書では詳細な解析を省略します。詳細な派生はユーザーに残されます。代わりに、この付録では、次のトピックにおける OWCS の動作についてのみ説明します:

- デュアル冗長システムとシングル デバイス システム
- 1 個の OWCS と 2 個の OWCS をデュアルの冗長システムで使用する場合
- デュアル、冗長システムでのエラー発生源
- デュアル冗長システムでの差動入力の測定
- デュアル冗長システムの概要

以降のセクションでは ADS125H18 の V20 バリエントを例として使用しますが、これらの結果は一般にすべての ADS125H18 デバイスのバリエントに適用されます。

5.1.1 デュアル冗長システムとシングル デバイス システム

図 5-3 は、図 2-5 に示す 1× OWCS を使用した標準的な単一 ADS125H18 システムと、図 5-2 に示す 2× OWCS を使用したデュアル冗長システムについて、 R_{SOURCE} に対する $OWCS_{Delta_SE}$ の値をプロットしています：

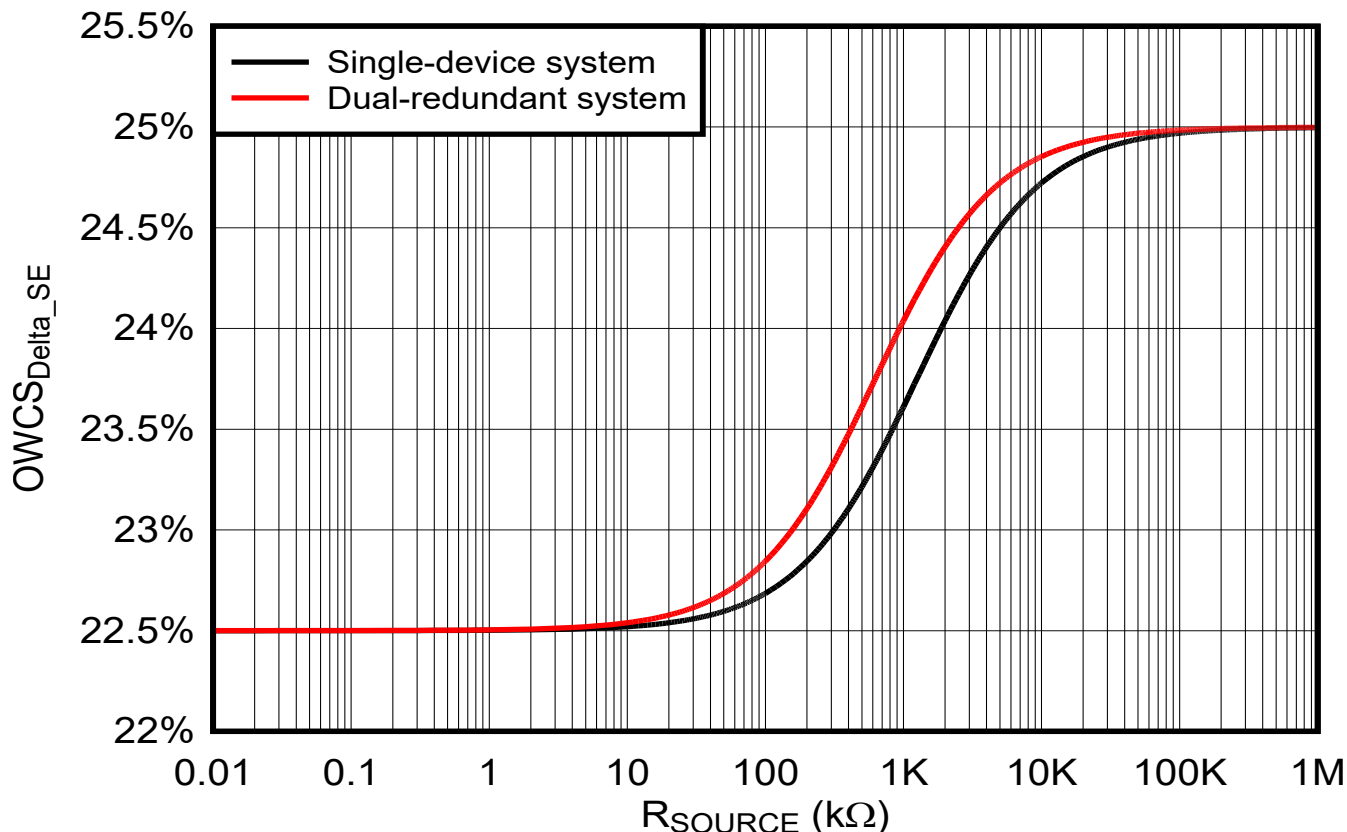


図 5-3. シングル デバイス システムにおけるデュアル冗長システムとシングル デバイス システムにおける $OWCS_{Delta}$ 動作 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

最小および最大の制限値は、1x OWCS を持つ単一の ADS125H18 を使用した標準実装と同じです。表 2-3 に示す制限を参照してください。ただし、冗長化システム曲線は、 R_{SOURCE} の範囲で 10kΩ から 10MΩ までわずかに左にシフトしています。このシフトは、システム 2 の ADS125H18 からの入力抵抗、電流源、電圧源を追加した結果生じます。したがって、式 8 を使用して、2 つの冗長システムで $OWCS_{Delta_SE}$ スレッシュホルドの測定値から任意の R_{SOURCE_OWCS} 値を予測することはできません。

5.1.2 デュアル冗長システムでの 1x OWCS と 2x OWCS の使用

図 5-4 は、デュアル冗長システムでは、アクティブなシステム側だけで OWCS を有効にするのではなく、両方の ADS125H18 デバイスで OWCS を有効にする必要がある理由を示しています。

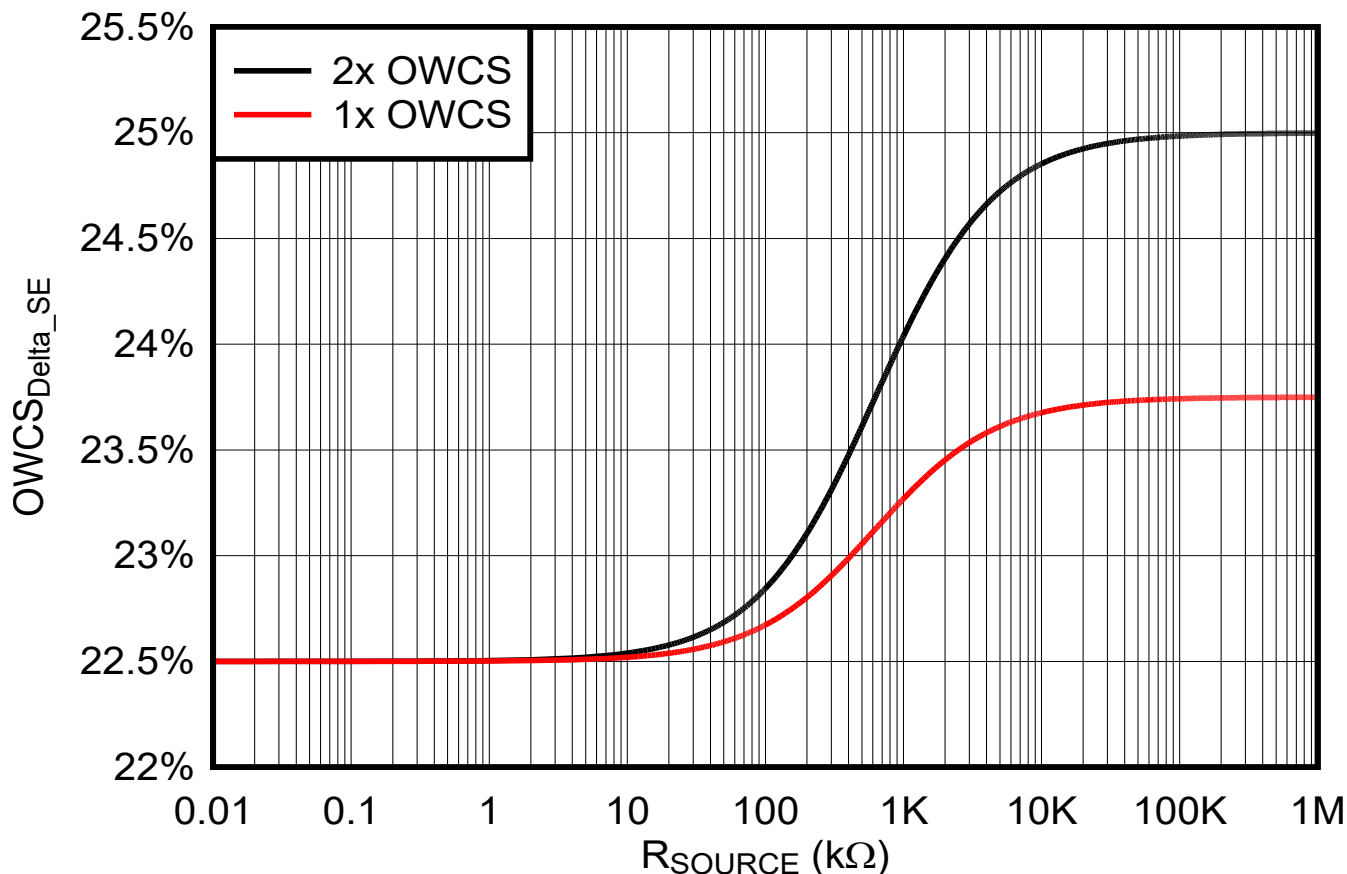


図 5-4. デュアル冗長システムにおける 1x OWCS と 2x OWCS 使用時の $OWCS_{Delta_SE}$ の動作 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

図 5-4 は、デュアル冗長システムで 1x OWCS を使用すると、2x OWCS を使用した場合と比較して最大スレッショルドの上限が半分にすることを示しています。表 5-1 に、すべての ADS125H18 デバイス バリエーションについて、1x OWCS を使用する場合と、デュアル冗長システムで 2x OWCS を使用する場合の $OWCS_{Delta_SE}$ の最小値と最大値をまとめています。

表 5-1. デュアル冗長システムにおける 1x OWCS と 2x OWCS の $OWCS_{Delta_SE}$ 最小値および最大値 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

バリエーション	1x OWCS			2x OWCS		
	$OWCS_{Delta_SE}$ 最小値	$OWCS_{Delta_SE}$ 最大値	差分	$OWCS_{Delta_SE}$ 最小値	$OWCS_{Delta_SE}$ 最大値	差分
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 は、デュアル冗長システムで $OWCS_{Delta_SE}$ の範囲を最大化するため、両方の ADS125H18 デバイスで OWCS を有効にする必要があることを明確に示しています。

5.1.3 デュアル、冗長システムでのエラー発生源

図 5-2 の冗長応答は、システム 1 の対応するすべての要素がシステム 2 と同じであるような公称条件を想定しています。たとえば、 $RA1 = RA2$ 、 $RB1 = RB2$ 、 $VREF1 = VREF2$ の場合、 $IOWCS_1 = IOWCS_2$ になります。ただし、これらの各要素には、システムの動作に影響を与える許容範囲があります。具体的には、入力抵抗分圧回路の各素子はデバイス間で $\pm 15\%$ ばらつく可能性があり、 $VREF$ には初期許容差 $\pm 0.1\%$ があるため、 $OWCS$ 出力に影響します。このドキュメントでは、各コンポーネントが $OWCS_{Delta_SE}$ 範囲に個別に影響を与える方法を示し、他のすべてのコンポーネントの公称条件を想定しています。

5.1.3.1 RA1 および RB1 のエラー

図 5-5 は、 $RA2$ 、 $RB2$ 、 $VREF1$ 、 $VREF2$ が公称値を維持すると仮定して、デュアル冗長システムで $\pm 15\%$ の $RA1$ と $RB1$ の抵抗変動が発生する影響を示しています：

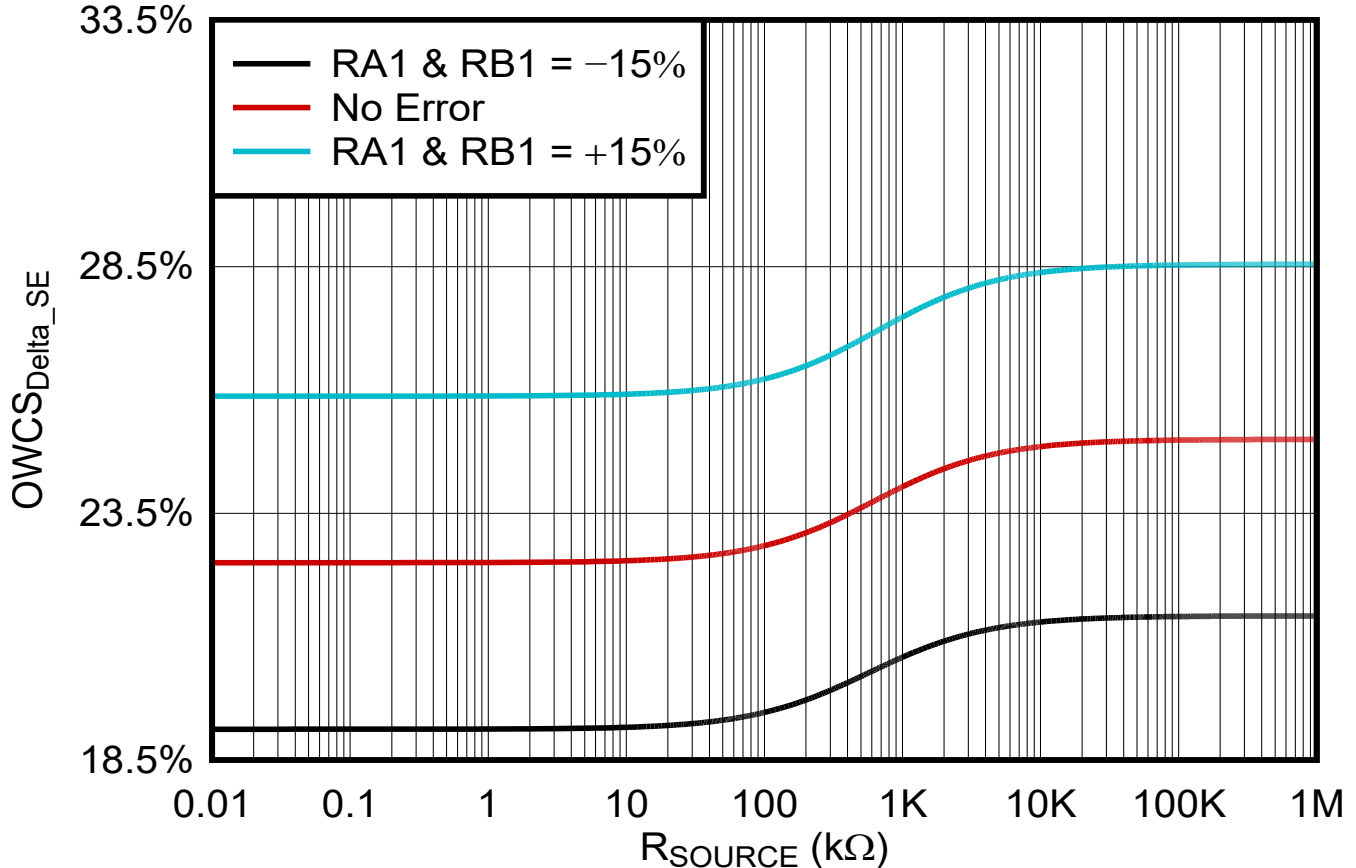


図 5-5. デュアル冗長システム (シングルエンド入力、ADS125H18V20) における $RA1$ および $RB1$ エラーによる $OWCS_{Delta}$ 動作

図 5-5 は、 $RA1$ と $RB1$ の抵抗の変動が正のシフト (オフセット) をスレッショルド曲線にもたらし、負性抵抗の変動によって大きな負のシフトが発生することを示しています。ただし、表 5-2 はオフセットが大きいにもかかわらず、 $OWCS_{Delta_SE}$ の最小値と最大値にわずかな差しかないことを示しています。つまり、 $RA1$ と $RB1$ の抵抗を変化させると、 $OWCS_{Delta_SE}$ の値は大きくシフトしますが、 $OWCS_{Delta_SE}$ 範囲には無視できる変化が生じます。

表 5-2. デュアル冗長システムにおける $RA1$ および $RB1$ の誤差による $OWCS_{Delta}$ の最小値および最大値 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

$RA1$ および $RB1$ のバリエーション	$OWCS_{Delta_SE}$ (min)	$OWCS_{Delta_SE}$ (max)	差分
-15%	19.13%	21.42%	2.30%
公称	22.50%	25.00%	2.50%
+15%	25.88%	28.55%	2.67%

5.1.3.2 RA2 および RB2 のエラー

図 5-6 は、RA1、RB1、VREF1、VREF2 が公称値を維持すると仮定して、デュアル冗長システムで $\pm 15\%$ の RA2 と RB2 の抵抗変動が発生する影響を示しています：

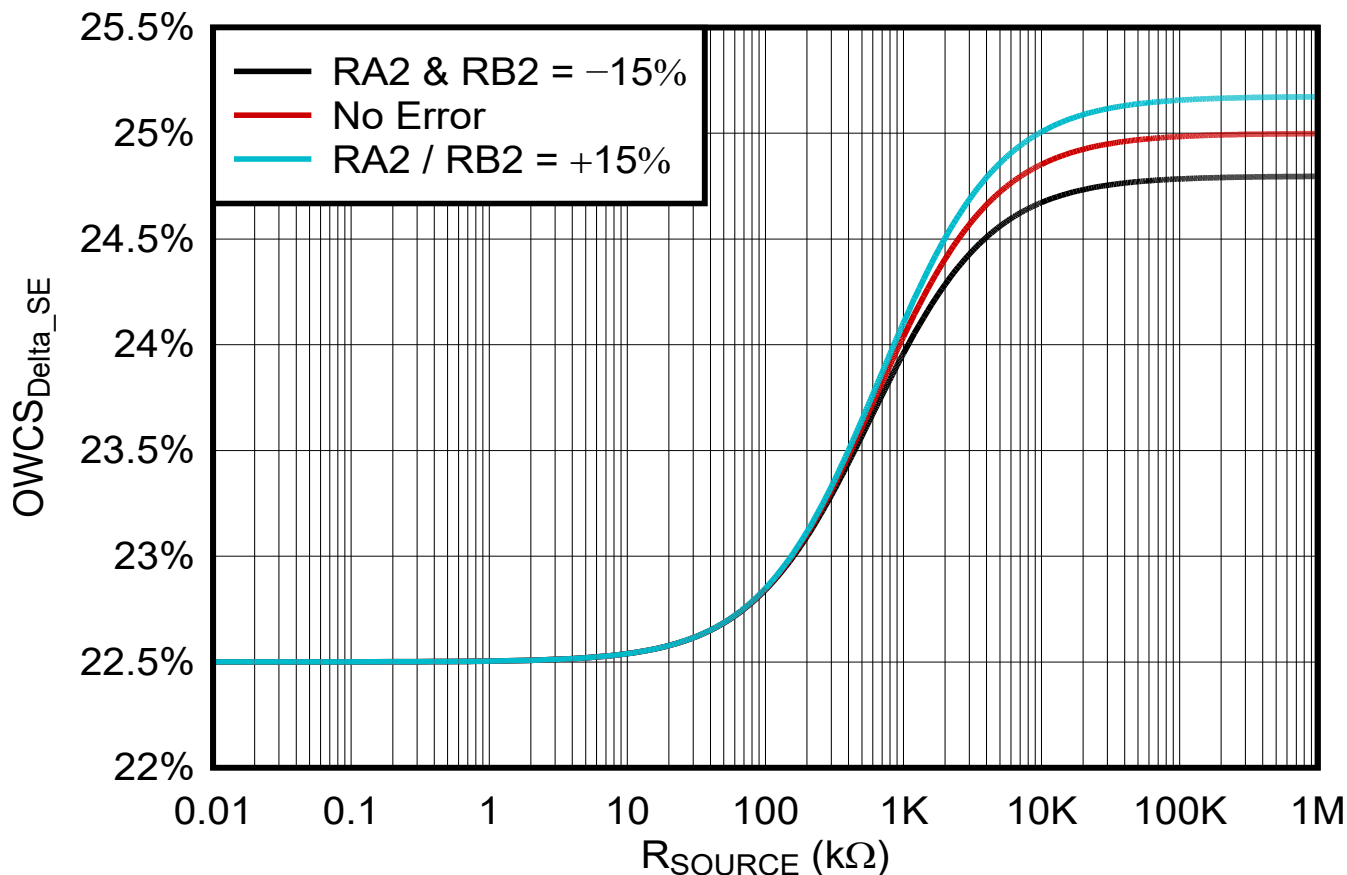


図 5-6. デュアル冗長システム (シングルエンド入力、ADS125H18V20) における RA2 および RB2 エラーによる OWCS_{Delta} 動作

図 5-6 は、 R_{SOURCE} が大きい場合 ($> 1M\Omega$) にのみ、抵抗 RA2 および RB2 のばらつきが OWCS_{Delta_SE} 値に顕著な影響を与えることを示しています。この動作は、 R_{SOURCE} が 0Ω に近付くと、図 5-2 の AIN0_1 ノードがグランドに短絡するために発生します。したがって、 R_{SOURCE} が十分に大きくなるまで、AVDD2 および I_{OWCS2} ソースはシステムに影響を与えません。表 5-3 に、図 5-6 以下の OWCS_{Delta_SE} の最小値と最大値を示します：

表 5-3. デュアル冗長システムにおける RA2 および RB2 の誤差による OWCS_{Delta} の最小値および最大値 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

RA2 および RB2 の変動	OWCS _{Delta_SE} (min)	OWCS _{Delta_SE} (max)	差分
-15%	22.50%	24.80%	2.30%
公称	22.50%	25.00%	2.50%
+15%	22.50%	25.17%	2.67%

5.1.3.3 VREF1 および VREF2 のエラー

図 5-7 は、RA1、RB1、RA2、RB2 が公称値を維持すると仮定した場合に、 $\pm 0.1\%$ の VREF1 と VREF2 の電圧変動がデュアル冗長システムに及ぼす影響を示しています。

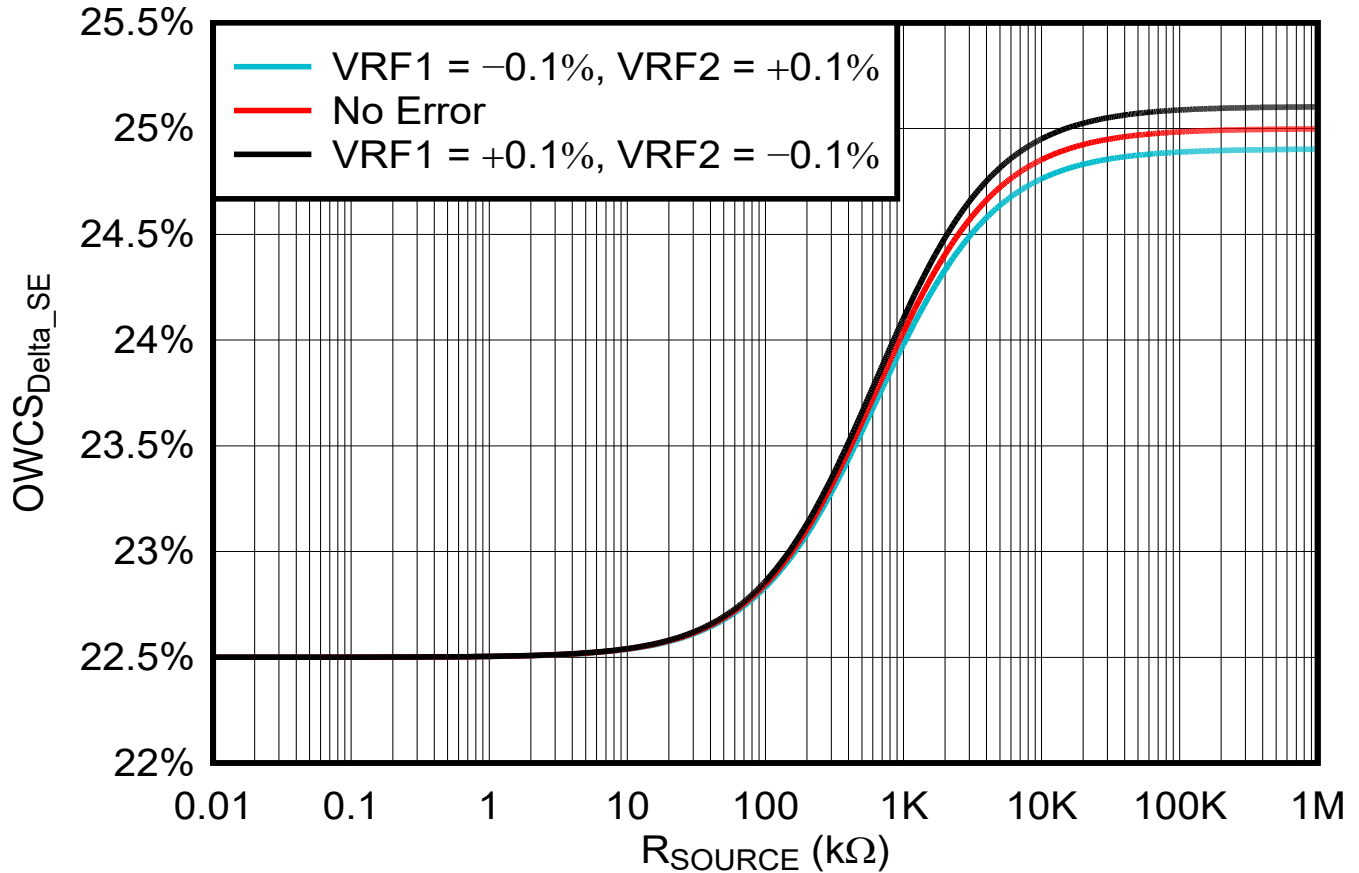


図 5-7. デュアル冗長システムでのシングルエンド入力測定時における VREF 誤差による $OWCS_{Delta_SE}$ の動作 (ADS125H18V20)

図 5-7 は、図 5-6 と同様に、 R_{SOURCE} が大きい場合 ($> 1M\Omega$)、VREF1 および VREF2 の電圧のバラツキが $OWCS_{Delta_SE}$ 値に顕著な影響を与えることを示しています。この動作は、 I_{OWCS1} 電流は R_{SOURCE} の両端で実質的に一定であり、 I_{OWCS2} 電流源は AIN0_1 での電圧寄与が無視できる程度であるためです。したがって、VREF1 と VREF2 のどちらかにわずかな変化が生じると、 $OWCS_{Delta_SE}$ の値にわずかな変化が生じます。表 5-4 に、図 5-7 以下の $OWCS_{Delta_SE}$ の最小値と最大値を示します：

表 5-4. デュアル冗長システムにおける VREF 誤差による $OWCS_{Delta}$ の最小値および最大値 (シングルエンド入力、ADS125H18V20)

VREF1 と VREF2 の変動	$OWCS_{Delta_SE}$ (min)	$OWCS_{Delta_SE}$ (max)	差分
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 デュアル冗長システムでの差動入力の実測

この付録では、シングルエンド入力を測定する際のデュアル冗長システム動作について説明します。ただし、図 5-8 は、これらのシステムで差動入力を測定できることを示しています：

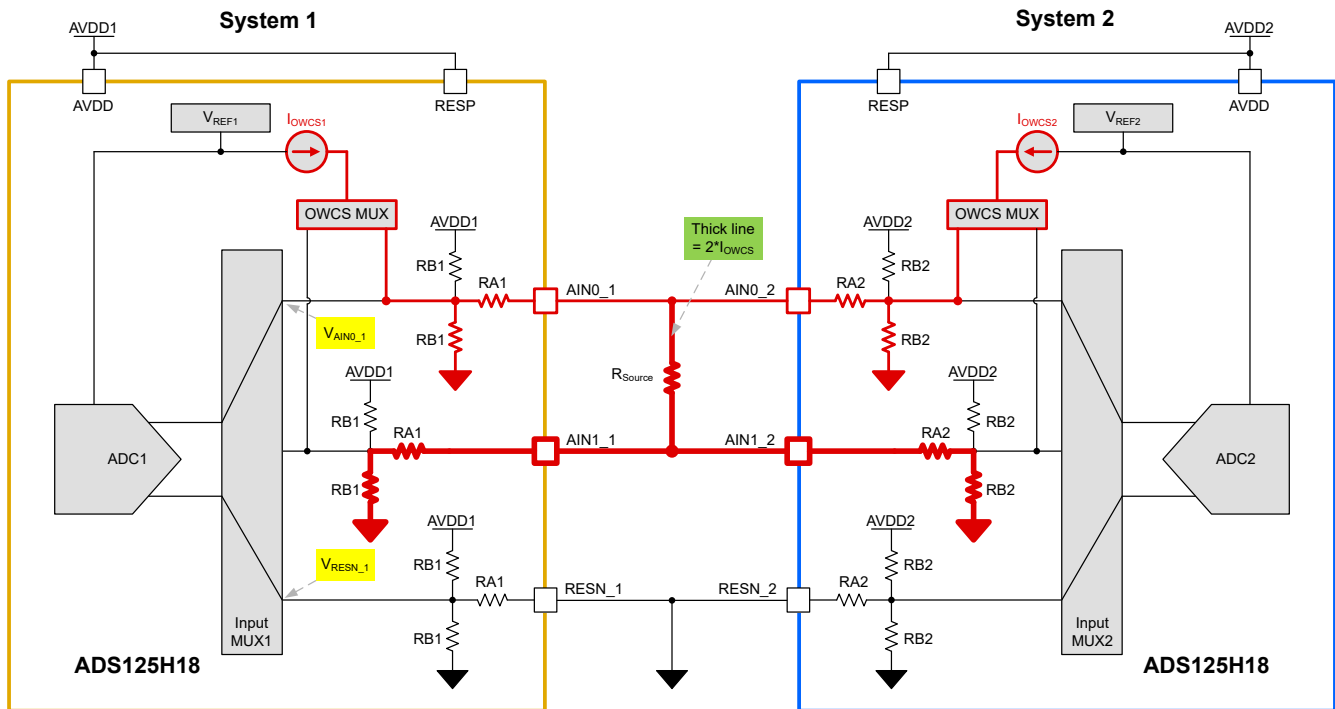


図 5-8. デュアル冗長システム (差動入力) での OWCS 電流パス

図 5-8 は、シングルエンド入力の例と同様に、ユーザーが両方の電流ソースを有効にする必要があることを示しています。電流は、各ソースから ADS125H18 の正の入力抵抗分圧器 (AIN0_x) を経由し、 R_{SOURCE} を経由して、負の入力抵抗分圧器 (AIN1_x) を経由して、グラウンドに流れます。太い赤い線は、2 つの電流源が結合して、 R_{SOURCE} および負入力側の抵抗分圧器を流れる電流が $2 * I_{OWCS}$ となる箇所を示しています。

差動入力を測定するデュアル冗長システムでも、シングルエンド入力の場合と比較して、概ね同様の動作を示します。したがって、差動入力についての追加の説明は含まれておらず、それ以上の分析はユーザーに任されています。

5.1.5 デュアル冗長システムの概要

次のリストは、デュアル冗長システムに関する重要な結論をまとめたものです：

- デュアル冗長システムで最も広いスレッショルドの範囲を確保するため、両方の OWCS を有効にします。したがって、どちらかのデバイスが実際に入力を測定していない場合でも、両方のデバイスに電力を供給して構成する必要があります。
- 同じ電圧定格の ADS125H18 を使用します。たとえば、二つの ADS125H18V20 の 2 個デバイスをデュアルの冗長システムとして使用します。異なる電圧定格を混合すると分析が複雑になり、スレッショルド範囲が狭くなる可能性があります。
- I_{OWCS} 電流の大きさができるだけ近くなるように、すべてのデバイスで同じリファレンス電圧値を使用します。たとえば、両方のデバイスの内部リファレンス電圧を 2.5V に設定します。可能であれば、レシオメトリック動作を維持するため、すべての ADS125H18 に単一の外部電圧リファレンスを使用してください。
- OWCS コードでは、式 18 および式 17 を使用して、シングルエンド入力と差動入力について測定された $OWCS_{Delta}$ から R_{SOURCE_OWCS} 値をそれぞれ予測します。ただし、このセクションから、デュアル冗長システムは、どのような条件下でも単一の ADS125H18 を使用するシステムと同じ動作を示さないことが明確に分かります。したがって、ユーザーは OWCS コードを変更して冗長システムで動作させる必要があります。特定の使用事例に基づいて $OWCS_{Delta}$ ルックアップ テーブル (LUT) を生成するとともに、対応する R_{SOURCE_OWCS} 値を LUT で検索する機能を生成することをお勧めします。ここでも、この操作は完了するためにユーザーに任されます。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月