Technical Article

キャリブレーションにおける埋め込みツェナー技術による極めて高い精度の利点

Jackson Wightman

高精度試験装置では、高精度のデータ コンバータを利用して、測定された測定結果が被試験デバイスを正確に表していることを確認します。テストおよび測定では、オフセット誤差、ゲイン誤差、または有効ビット数の減少は、いずれも生成される測定値に悪影響を及ぼします。しかし、残念ながらこれらの誤差すべてを排除して高精度システムを設計することはできません。温度ドリフトや長期ドリフトなどの要因は、最終的にはゲイン誤差またはオフセット誤差の形で表れます。このため、測定を正確に行うためにキャリブレーションを行う必要があります。

キャリブレーションを有効にするには、変化しない電圧レベルを利用できる必要があります。通常、これを「ゴールデン リファレンス」と呼ぶ場合もあります。A/D コンバータ (ADC) は、これらの既知の電圧レベルを測定するので、ADC は結果を比較し、任意の違いを使用してゲイン誤差とオフセット誤差を決定することができます。図 1 に、この回路の構成例を示します。

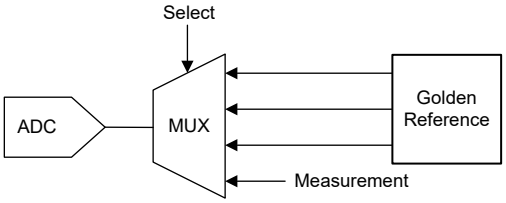


図 1. ADC キャリブレーションの回路構成例

ゲイン誤差およびオフセット誤差を定量化すると、ソフトウェアはその差を補償できます。このキャリブレーション方法は、試験用の正確な測定を維持するために不可欠であり、可能な限り変化しないゴールデン リファレンスに完全に依存しています。もちろん、全く変化しない回路は存在しません。したがって、高精度の電圧リファレンスであっても、時間により小さなドリフトを示します。

キャリブレーションにおける埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスの重要性

時間とともに変化するゴールデン リファレンスが、システム全体の精度に影響を及ぼします。システムの精度に影響を及ぼすゴールデン リファレンスのパラメータには、長期ドリフト、温度ドリフト、ノイズなどがあります。

表 1 に示すパラメータによる誤差を最小限に抑える電圧リファレンスを選択すると、ヒーターを内蔵した埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスを選択することになります。埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスは、時間および温度による電圧レベルのドリフトを最小限とし、超低ノイズを実現しています。このようなデバイスの例として、テキサス・インスツルメンツの REF80 があります。表 1 には、REF80 のいくつかの性能仕様も掲載されています。

表 1. 電圧リファレンスのパラメータと REF80 の仕様

電圧リファレンスのパラメータ	仕様
長期ドリフト	3ppm (0～1000 時間) 0.3ppm (1000～5000 時間)
温度ドリフト	0.05ppm/°C (標準値) 0.2ppm/°C (最大値)
0.1Hz～10Hz のノイズ	$0.12ppm_{p-p}$

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

0.1Hz～10Hz のノイズと温度ドリフトは電圧リファレンスの出力に影響を与えるため、キャリブレーション誤差につながります。ただし、キャリブレーションの際に考慮する必要のある最も重要な仕様は、長期的なドリフトです。これは、システム全体のキャリブレーションが必要な頻度に直接影響するパラメータだからです。

半導体試験装置のシステム キャリブレーションの間隔の増加

試験装置および測定機器全体で ADC と DAC のキャリブレーションを行う場合、埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスを使用すると、ADC と DAC の出力値がどのように変化したかを判断するのに役立ちます。埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスの時間による変動はごくわずかですが、高精度の試験装置では、出力電圧のわずかな変動も考慮する必要があります。多くの試験および測定システムでは、ゴールデン リファレンスに依存するシステムのキャリブレーションが正確であることを確認するため、数か月の間ゴールデン リファレンスをキャリブレーションする必要があります。REF80 の長期ドリフトを、図 2 に示します。

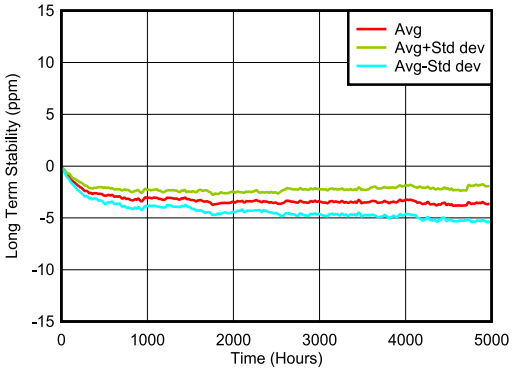


図 2. REF80 出力電圧の長期ドリフト

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

高精度試験および測定システムのキャリブレーションに REF80 が適している理由を示している図 2 には、いくつかの重要な側面があります。まず、出力電圧ドリフトのほとんどは、デバイスが動作を開始した最初の 400 時間に発生します。これは、出力電圧ドリフトのセトリングが速いと出力電圧のドリフトがそれほど大きくないため、キャリブレーションの必要性は少なくなるので重要です。つまり、長期ドリフトが減少すると必要な校正の回数も減るということです。自動試験装置のパラメトリック測定ユニットの場合、この結果は特に重要です (図 3 を参照)。

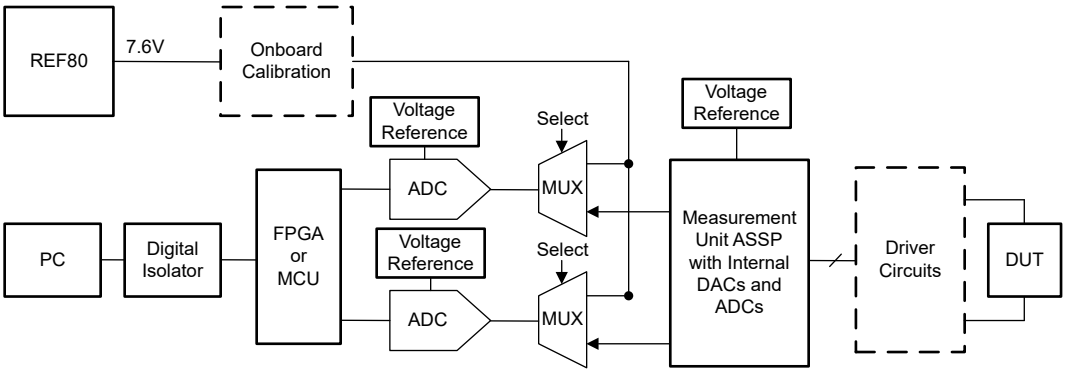


図 3. 自動試験装置内にあるパラメータ測定ユニットのブロック図

自動試験装置は、ゴールデン リファレンスの出力電圧ドリフトがテスタの測定精度に影響を与えていないことを確認するため、一定の期間後にキャリブレーションを行う必要があります。キャリブレーションが行われるたびに、システム全体をオフラインにする必要があり、時間とコストがかかります。REF80 などの埋め込みツェナー ダイオードの電圧リファレンスを使用すると、キャリブレーションに要する時間とコストを節約できます。

REF81 を活用した設計のさらなる簡素化

設計で、REF80 の出力電圧である 7.6V 以外のキャリブレーション電圧またはリファレンス電圧が必要な場合は、REF81 を検討できます。REF81 デバイスには、7.6V の埋め込みツェナー電圧出力だけでなく、加熱デバイスの内部にバッファと高精度の抵抗デバイダも内蔵されており、追加の低ドリフトの出力電圧を生成できます。REF81 を使用して複数の出力電圧を生成する方法の一例を、図 4 で確認できます。

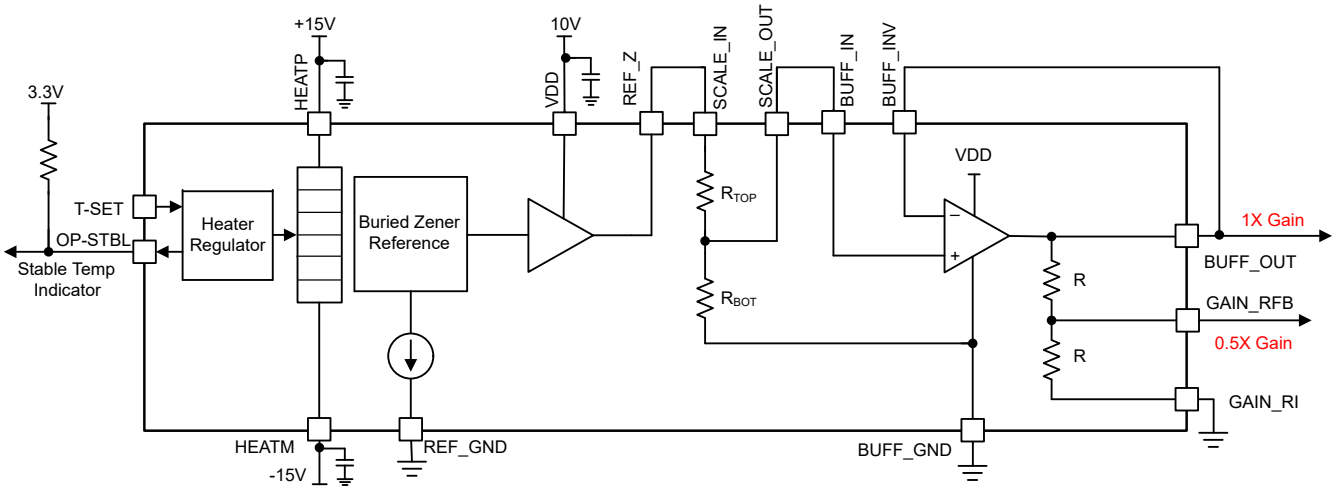


図 4. REF81 のブロック図

REF81 には、出力電圧に対して 2 倍のゲインを供給するようにバッファを構成するオプションもあります。これは、REF81 の 5V バージョンを使用する場合、バッファの出力電圧が 10V になるようにデバイスを構成できることを意味します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

まとめ

REF80 または REF81 と高度なキャリブレーション方法を使うと、精密な試験および測定アプリケーションで可能な限り長時間、高精度を維持できます。REF80 や REF81 が実現できるような精度がなければ、試験システムや測定システムは、高度なエレクトロニクスのさらなる進歩を導くために必要な結果を得ることができません。高精度新時代を切り開くためにテキサス・インスツルメンツが最善を尽くす中、REF80 や REF81 のようなデバイスが道を切り拓きます。

その他の資料

- REF80 の評価基板のダウンロード。

商標

すべての商標はそれぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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むいかなる保証も、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、テキサス・インスツルメンツの販売条件、または ti.com やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所:Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

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むいかなる保証も、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