

Application Note

TPS40210 および TPS40211 での絶縁型フライバック フィードバックの実装方法



Hangjie Wang, David Ji

概要

フライバックは、設計を簡素化する一般的な絶縁型トポロジです。フィードバックを安定させるには、いくつかの方法があります。厳格なレギュレーション出力が不要である場合や、フォトカプラが利用できない場合は、1 次側レギュレーションを使用してください。2 次側の絶縁フィードバック用の手法では、絶縁フィードバックに TL431 とフォトカプラの両方が適用されるため、TL431 デバイスが使用されます。一般に、2 次側には安定したループの補償の実装が必要です。理論上は、選択した内部エラー アンプを使用する必要はありません。この方法を使用するには、さらに検討が必要です。システムが機能するようにするには、このような設計上のヒントが非常に重要です。

目次

1 はじめに.....	2
2 1 次側レギュレーション (PSR).....	3
3 2 次側レギュレーションの実装.....	4
3.1 2 次側レギュレーションの一般的なフィードバックの実装.....	4
3.2 2 次側レギュレーションのフィードバックの実装.....	5
4 シミュレーション結果.....	6
5 実際のボード線図の比較.....	7
6 まとめ.....	8
7 参考資料.....	9

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

フィードバックを安定させるには、2 つの方法があります。

この記事では、**PSR** と **SSR** の実装方法を要約し、1 次側レギュレーションで安定したバイアス IC と良好な過渡応答を実現するために、フィードバック補償パラメータの設定を検討する方法を示します。2 次側レギュレーションでは、フィードバックを実装する方法が 2 つあります。2 次側にはエラー アンプと補償器があるため、1 次側 IC の内部エラー アンプを使用する必要はありません。1 次制御デバイスの内部エラー アンプを使用してください。内部エラー アンプが、相互コンダクタンス アンプではなくオペアンプであることを確認してください。フォトカプラの出力接続と、内部エラー アンプのゲインの設定を検討します。どちらの方法も安定したループを実現できます。

PMP40274 ボードでシミュレーションを実行して、これらの 2 つの方法を検証しました。

21 次側レギュレーション (PSR)

PSR フライバックレギュレーションの場合、出力電圧センシングの実行方法は 3 つあります。1 番目の方法は、1 次側のスイッチング ノードを検出することです。2 番目の方法は、3 番目の巻線または補助巻線の電圧を直接検出することです。3 番目の方法は、3 番目の巻線または補助巻線の整流器の電圧を検出することです。1 番目と 2 番目の方法では、1 次側コントローラ デバイスのサポートが必要です。3 番目の方法は最も多用されています。図 2-1 にブロック図を示します。PSR 制御のために、デバイスにエラー アンプが搭載されている必要があります。それ以外の場合は、外部リファレンスおよびアンプが必要です。必須のパラメータに従っていることを確認してください。詳細については、『[従来型の昇圧コントローラを使った 1 次側レギュレーション フライバック コンバータの設計](#)』を参照してください。

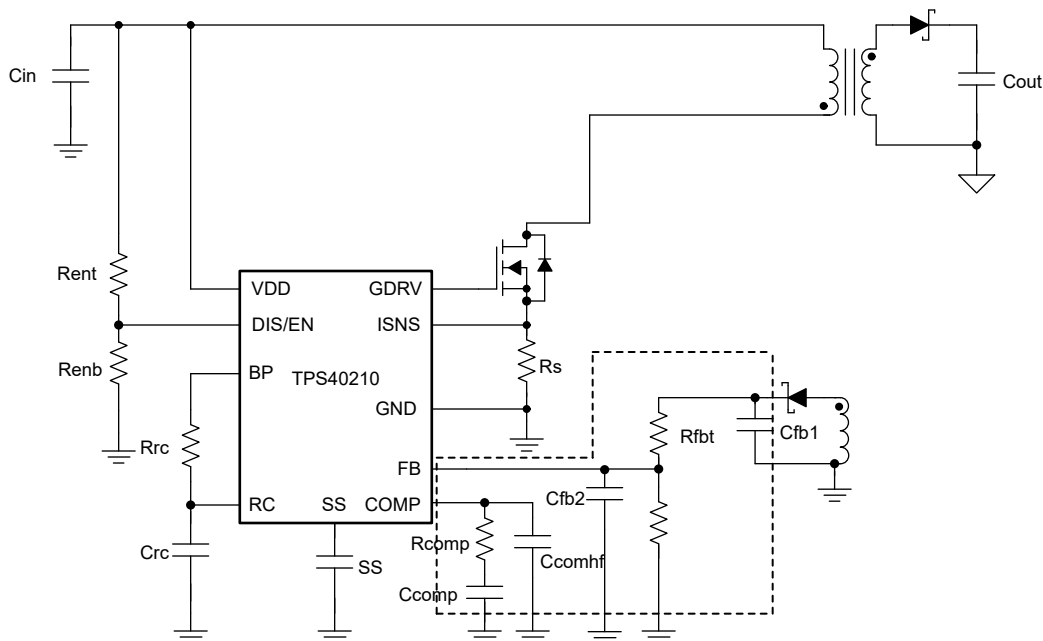


図 2-1. 1 次側レギュレーションのブロック図

3 2 次側レギュレーションの実装

3.1 2 次側レギュレーションの一般的なフィードバックの実装

TPS40210 デバイスには、エラー アンプとリファレンス電圧が組み込まれています。非絶縁型フライバックまたは昇圧トポロジでは、これらの機能が使用されます。2 次側レギュレーションでは、2 次側アンプまたはリファレンス電圧搭載のディスクリート アンプで **TL431** が使用されます。**TL431** デバイスは、リファレンス電圧を搭載したエラー アンプとして動作します。**TPS40210** デバイスは内部アンプを必要としません。**FB** はグランドに接続できます。[図 1](#) に、補償から出力への伝達関数を示します。

$$\frac{V_{comp}}{V_{out}} = \frac{R_{pullup} * CTR * [(1 + SComp * (Rfb1 + Rcomp))] * (1 + SComp * R_{pullup})}{R_{led} \frac{S * Rfb1 * Comp}{1 + S * Copto * R_{pullup}}} \quad (1)$$

Copto はフォトカプラの寄生容量 (一般に 1nF ~ 5nF) です

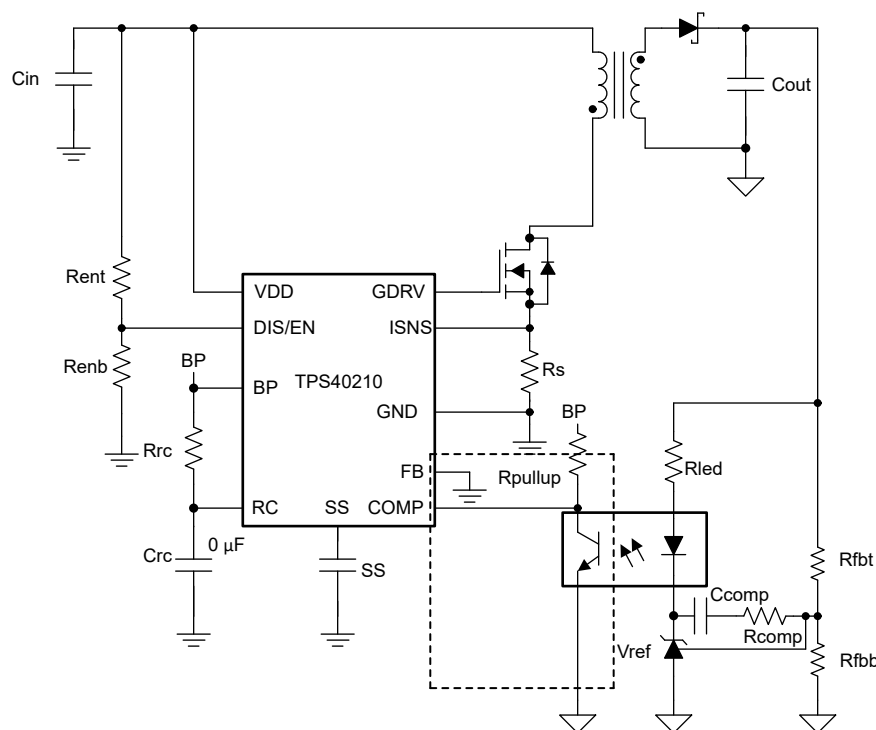


図 3-1.2 次側レギュレーションのフィードバック実装

3.2.2 次側レギュレーションのフィードバックの実装

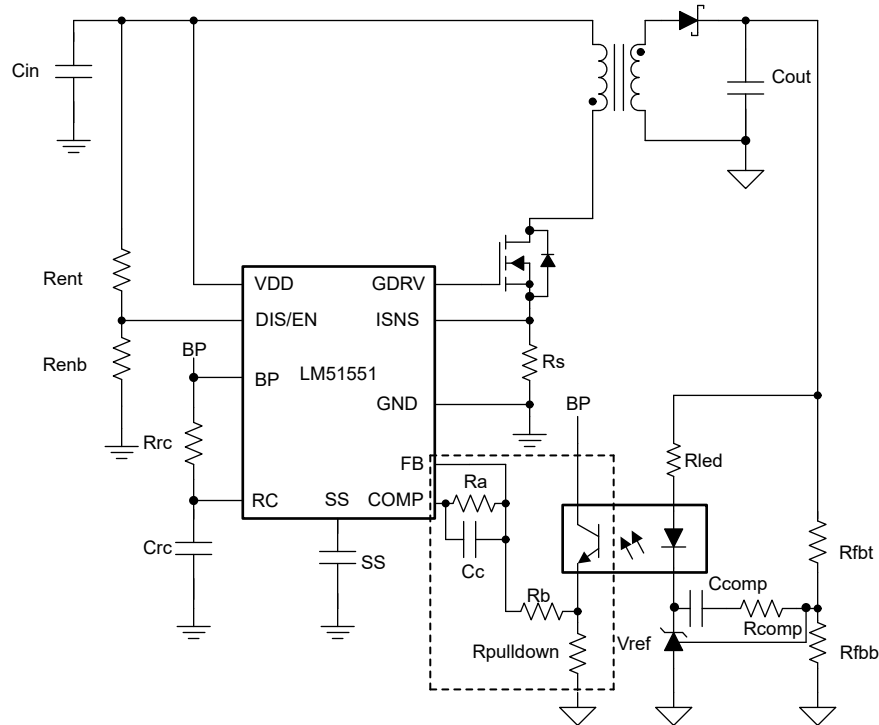


図 3-2. 1 次側アンプを使用した 2 次側レギュレーションのフィードバックの実装

2 次側レギュレーションでは、2 次側アンプまたはリファレンス電圧搭載のディスクリートアンプで TL431 を使用します。デバイスは、図 3-2 に示すように接続できます。この条件では、内部エラーアンプの動作がアンプに反比例するため、フォトカプラコネクタを抵抗からグラウンドにプルダウンする必要があります。式 2 に、出力伝達関数への補償を示します。

$$\frac{V_{comp}}{V_{out}} = \frac{R_a \cdot R_{pullup}}{R_b \cdot R_{led}} \cdot \frac{CTR \cdot [(1 + S \cdot C_{comp} \cdot (R_{fb1} + R_{comp}))]}{S \cdot R_{fb1} \cdot C_{comp}} \cdot \frac{(1 + S \cdot C_{opto} \cdot R_{pullup})}{1 + S \cdot C_{opto} \cdot R_{pullup}} \quad (2)$$

式 3 に示すように、1 次側ゲインはユニティゲインです。伝達関数は、一般的な実装方法と同じである必要があります。追加する極やゼロがない場合、補償は同じである必要があります。式 3 が満たされていない場合、出力伝達関数のゲインへの補償は一般的な実装方法とは異なりますが、比例しています。

$$R_{pullup} = \frac{R_a \cdot R_{pullup}}{R_b \cdot R_{led}} \quad (3)$$

この方式では、IC の内部エラーアンプは従来型のオペアンプです。このタイプのオペアンプは、電圧から電圧への単純な増幅デバイスであり、安定性のために、出力と入力との間でローカルフィードバックが必要です。詳細については、『DC/DC コンバータ用オペアンプと OTA を使用したタイプ II とタイプ III 補償器の説明』を参照してください。それ以外の場合、相互コンダクタンスオペアンプ (OTA) の大半は電流のみを供給するため、この方法は推奨されません。また、比例機能として実装する場合、OTA のゲインの調整は困難です。適切なゲインは、内部補償範囲に適合した OTA の設定である可能性があります。このパラメータ設定が有効なのは特定の範囲のみです。この方法では、分圧オペアンプほどの柔軟性を実現できません。したがって、内部の相互コンダクタンスアンプが原因で、LM3481 および LM5155 シリーズにはこの実装は適用されません。

4 シミュレーション結果

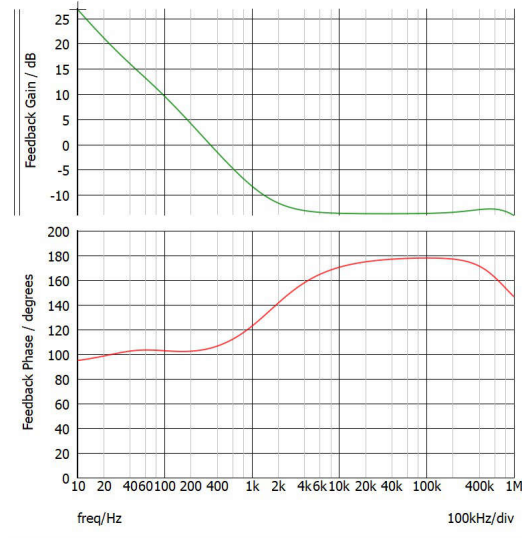


図 4-1. アンプのない補償器

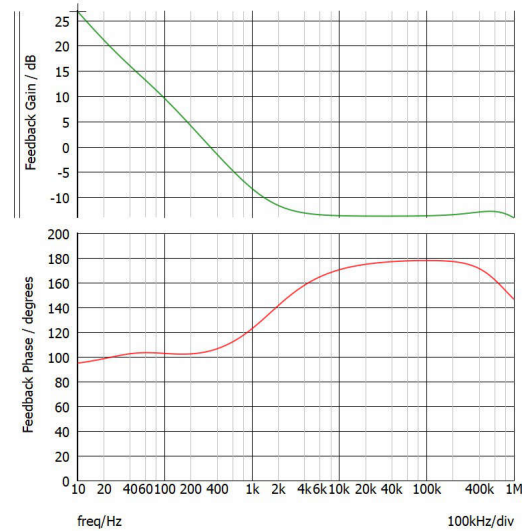


図 4-2. アンプのある補償器

アンプのない補償器とアンプのある補償器は、PMP40274 ボードのパラメータを基にした、1 次側の内部アンプがある場合とない場合の補償器のシミュレーション結果です。アンプのない補償器の場合、 R_{pullup} 抵抗は $4k\Omega$ であり、BP にプルアップされています。 R_{pullup} 抵抗と BP の間の交点は補償に接続され、FB はグラウンドに接続されています。式 3 が満たされると、補償器のボード線図は同じになります。

5 実際のボード線図の比較

図 5-1 および 図 5-2 は、PMP40274 ボードのパラメータに基づき、1 次側の内部アンプを使用した場合と使用しない場合の測定結果を示しています。アンプを使用しない補償器の場合、その変化はシミュレーション モデルと同じになります。アンプを使用しないループ ボード線図の帯域幅は 7.6kHz、位相マージンは 58°C、ゲイン マージンは -18dB です。アンプを使用したループ ボード線図の帯域幅は 3.2kHz、位相マージンは 58°C、ゲイン マージンは -17dB です。帯域幅のみがわずかに異なりますが、それぞれのボード線図には十分な位相マージンとゲイン マージンがあります。

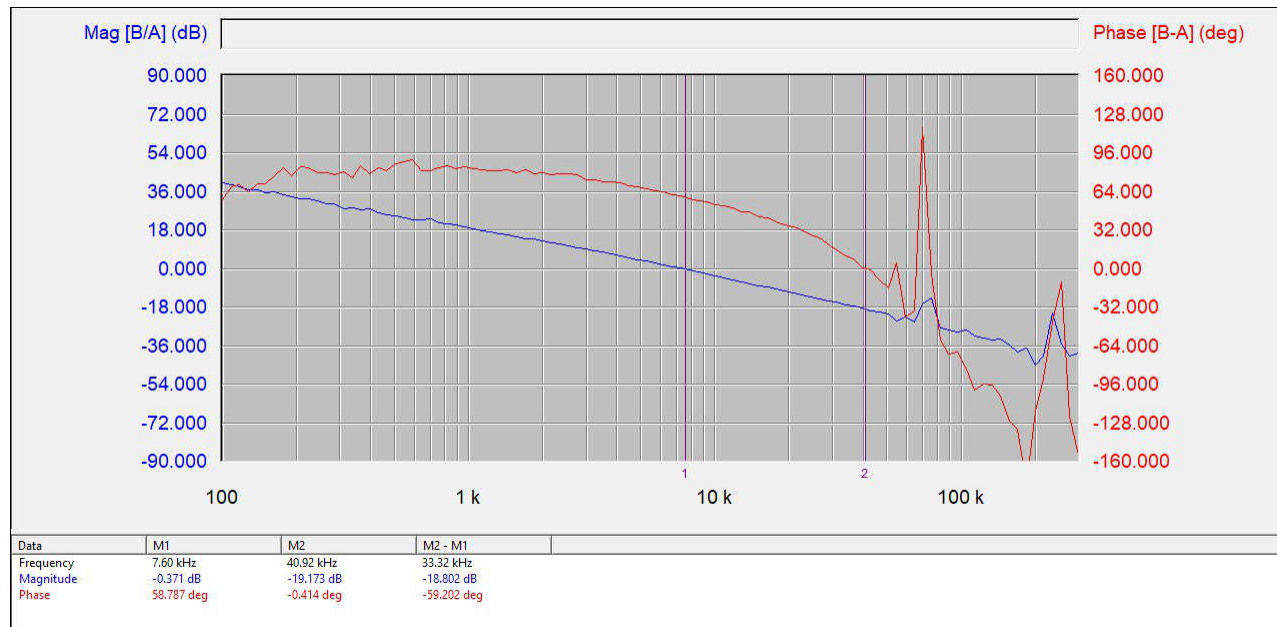


図 5-1. アンプのないループ ボード線図

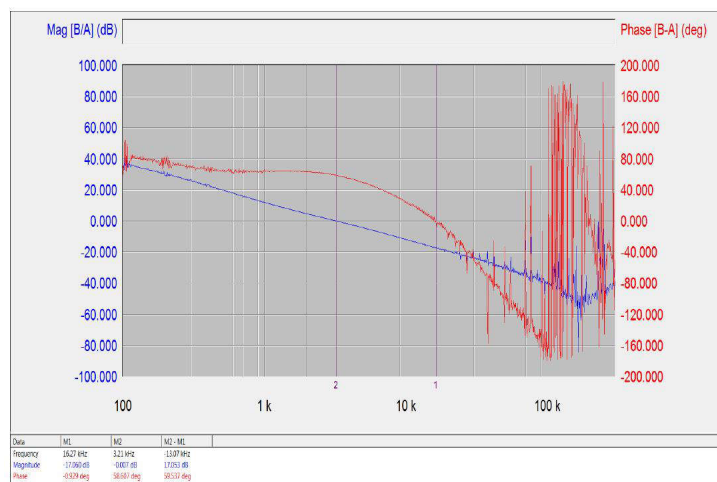


図 5-2. アンプのあるループ ボード線図

6 まとめ

フライバック フィードバックの実装は複雑ではありませんが、ベスト プラクティスは存在します。1 次側レギュレーションで安定したバイアス IC と良好な過渡応答を実現するには、フィードバック フィルタの設定を検討します。2 次側レギュレーションにフィードバックを実装する方法は 2 つあります。2 次側にはエラー アンプと補償器があるため、1 次側 IC の内部エラー アンプを使用する必要はありません。もう 1 つの方法は、1 次コントローラ IC の内部エラー アンプの使用です。この方法を使用する場合は、内部エラー アンプが相互コンダクタンス アンプではなくオペアンプであることを確認してください。フォトカプラの出力接続を考慮して、内部エラー アンプの適切なゲインを設定します。どちらの方法も、安定したループを実現できます。この 2 つの方法は、PMP40274 ボードを使用して実行したシミュレーションと実用実験によって検証されました。

7 参考資料

- テキサス インスツルメンツ『[従来型の昇圧コントローラを使った 1 次側レギュレーション フライバック コンバータの設計](#)』、セミナー。
- テキサス インスツルメンツ『[LM51551-Q1 2.2MHz の入力範囲が広い非同期整流昇圧 / SEPIC / フライバック コントローラ](#)』、データシート。
- テキサス インスツルメンツ『[LM5155 を使用した絶縁型フライバック コンバータの設計方法](#)』、アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ『[PMP40274 24Vin、5V6A パワー モジュールのリファレンス デザイン \(PMP40274 24Vin, 5V6A Power Module Reference Design\)](#)』、製品ページ。
- テキサス インスツルメンツ、『[TL431 可変高精度シャント レギュレータ \(TL431 Adjustable Precision Shunt Regulator\)](#)』、データシート。

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](https://www.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

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](https://www.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