

Technical Article

自己バイアス コンバータを使用して **AC/DC** フライバック設計を簡素化する方法

Max Wang

AC/DC USB 電源供給 (PD) 充電器の小型化、軽量化、高効率化に対する需要は、電源設計エンジニアにとって常に課題となります。100W 以下では、疑似共振フライバックが依然として主流のトポロジであり、GaN (窒化ガリウム) テクノロジーは電力密度と効率をさらに向上させることができます。

ただし、一次側コントローラにバイアス電力を供給するには、トランスの補助巻線に加え、整流回路とフィルタリング回路も必要です。さらに問題を複雑にしているのは、USB PD 充電器の出力電圧が広範囲にわたる点です。例えば、USB PD 規格の電力範囲は 5V~20V までの出力電圧に対応しており、最新の USB PD 拡張電力範囲では出力電圧が 48V まで対応しています。

補助電圧は出力電圧に比例するため、一次側コントローラのバイアス電圧範囲が拡大し、追加の回路が必要になり、効率が低下します。このパワーヒントでは、これらの設計課題に対応するための自己バイアス型フライバックコンバーターソリューションを紹介します。

広いバイアス電圧への対応

図 1、図 2、図 3、および図 4 は、USB PD 充電器アプリケーションにおける広いバイアス電圧範囲に対応する 4 つの異なる方法を示しています。従来方法には、リニアレギュレータの使用、タップ付き補助巻線の使用、あるいはバイアス電圧を調整するための追加の DC/DC スイッチングコンバータの追加などが含まれます。これらの方法はいずれも、部品点数の増加、コストの増加、または電力損失の増加を伴います。一方、自己バイアス方式では 外付け部品を完全に削除し、効率を向上させます。

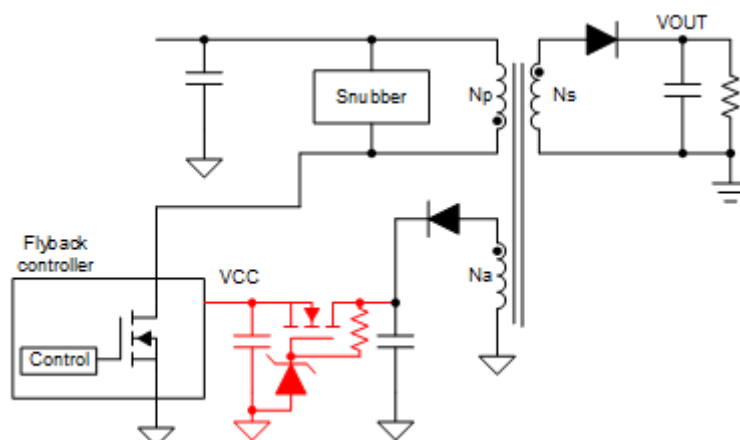


図 1. ディスクリートリニアレギュレータを使用した、広い出力電圧範囲のアプリケーション向けバイアス回路。出典: テキサス・インスツルメンツ

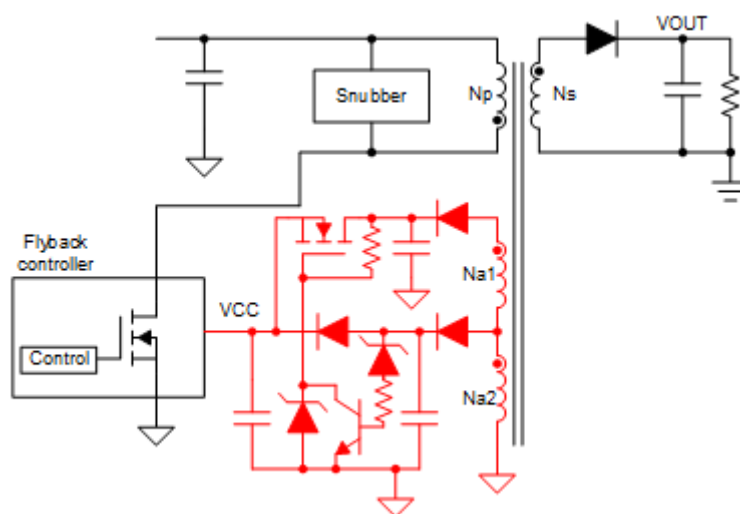


図 2. タップ付き補助巻線を使用した、広い出力電圧範囲のアプリケーション向けバイアス回路。出典: テキサス・インスツルメンツ

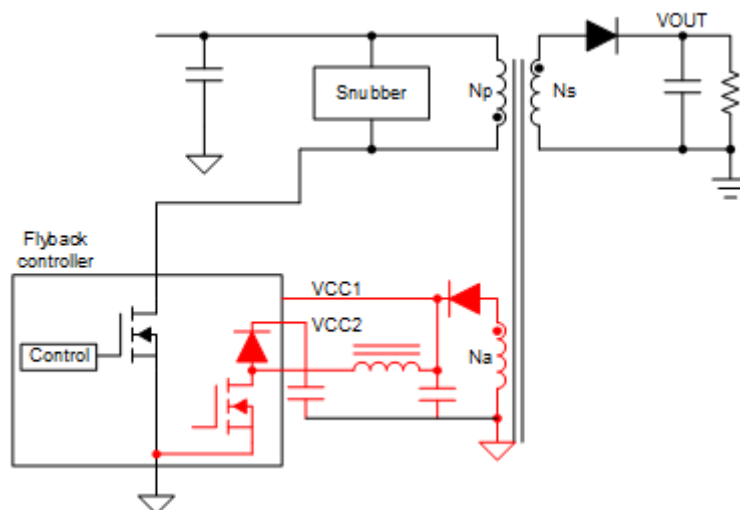


図 3. 昇圧コンバータを使用した、広い出力電圧範囲のアプリケーション向けバイアス回路。出典: テキサス・インスツルメンツ

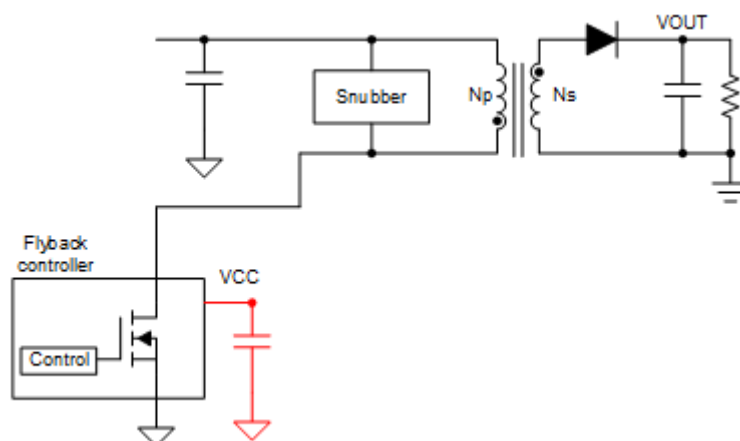


図 4. 自己バイアス VCC を使用した、広い出力電圧範囲のアプリケーション向けバイアス回路。出典: テキサス・インスツルメンツ

VCC 自己バイアス

フライバックコントローラは、整流された AC 入力電圧から常にバイアス電力を直接取得できますが、これにより過大な電力損失が発生します。自己バイアスの鍵は、2 つのソースから供給される電力段からエネルギーを回収することです。1 つはスイッチノードコンデンサに蓄積されたエネルギー、もう 1 つはトランスの一次側巻線に蓄積されたエネルギーです。図 5 に示すように、内蔵の自己バイアス回路は、入力と出力の条件に基づいて両方を行うのが理想的です。

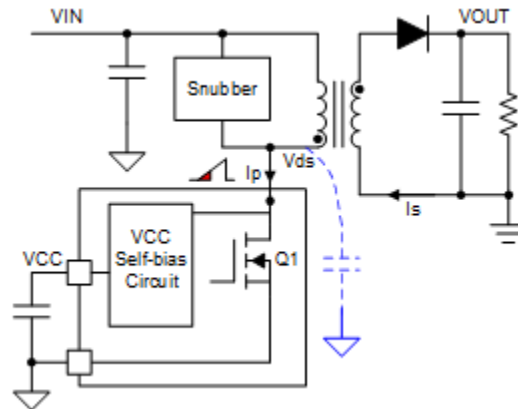


図 5. 自己バイアス回路は、スイッチノードの容量または磁化インダクタンスからエネルギーを回収します。出典: テキサス・インスツルメンツ

図 6 は、スイッチノードコンデンサからのエネルギーハーベストを示します。これは、スイッチングサイクルごとにスイッチングノードコンデンサのエネルギーストレージをリサイクルするため、効率を向上させることができます。AC 低電圧入力時など、反射出力電圧が入力電圧と同一の場合、自然ゼロ電圧スイッチングが発生し、スイッチングノードコンデンサにエネルギーが存在しないため、インダクタエネルギーハーベスティングが有効になります。この際、一次側スイッチング電流の一部が内部経路を通じて VCC コンデンサに流れます。

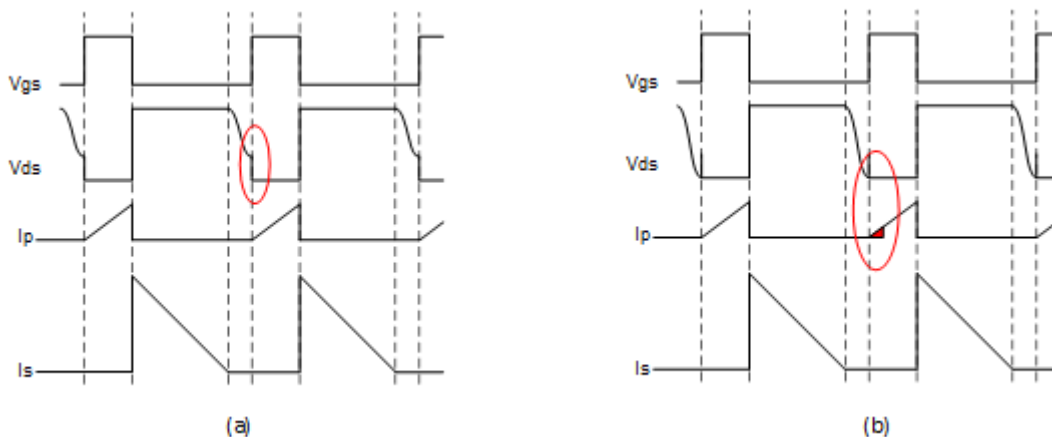


図 6. VCC 自己バイアス操作: (a) スwitchングノードでのコンデンサエネルギーハーベスティング、および (b) 一次電流によるインダクタエネルギーハーベスティング。出典: テキサス・インスツルメンツ

補助なしセンシングの実現

多くのフライバックコントローラは、補助巻線を使用して入力電圧および出力電圧を検知し、出力過電圧や入力低電圧などの状態を検出しています。自己バイアス型フライバックコンバータでは、スイッチングノード電圧を入力電圧および出力電圧のセンシングに使用することができます。図 7 に示すように、センシングされる電圧は、入力電圧と反射出力電圧の合計になります。一次巻線両端の平均電圧がゼロであるため、スイッチングノード電圧の平均は入力電圧と等しくなります。

出力電圧の検出には反射出力電圧をサンプリングでき、コントローラはトランジスタの正確な巻数比を抵抗でプログラム可能なピン (テキサス・インスツルメンツ (TI) の UCG28826 における TR ピン) を使用して通知する必要があります。

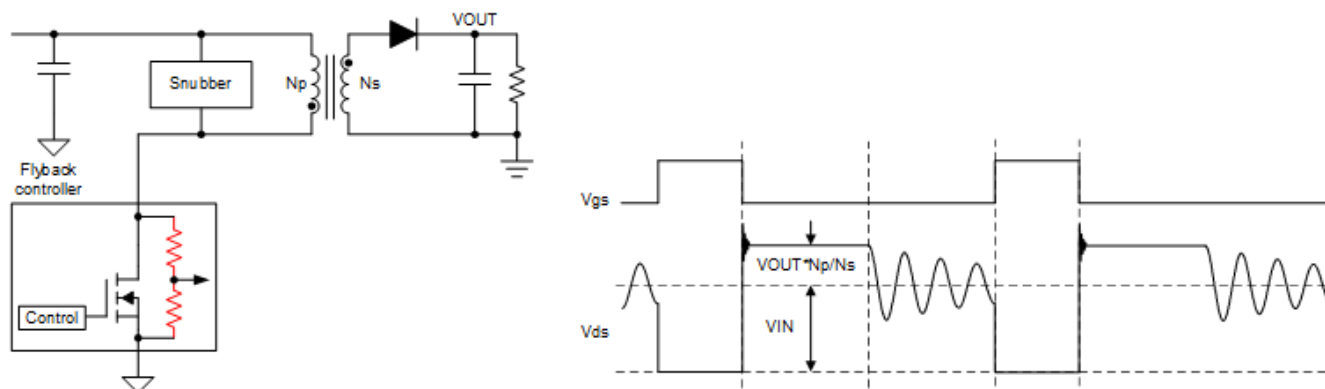


図 7. 検出電圧が入力電圧と反射出力電圧の合計である、補助なし電圧検出。出典:テキサス・インスツルメンツ

UCG28826 などの自己バイアス型デバイスは、適切に構成すると、過電力保護や過電圧保護などのさまざまな保護機能を正確に提供することができます。図 8 は USB PD アプリケーションにおける UCG28826 を示しています。

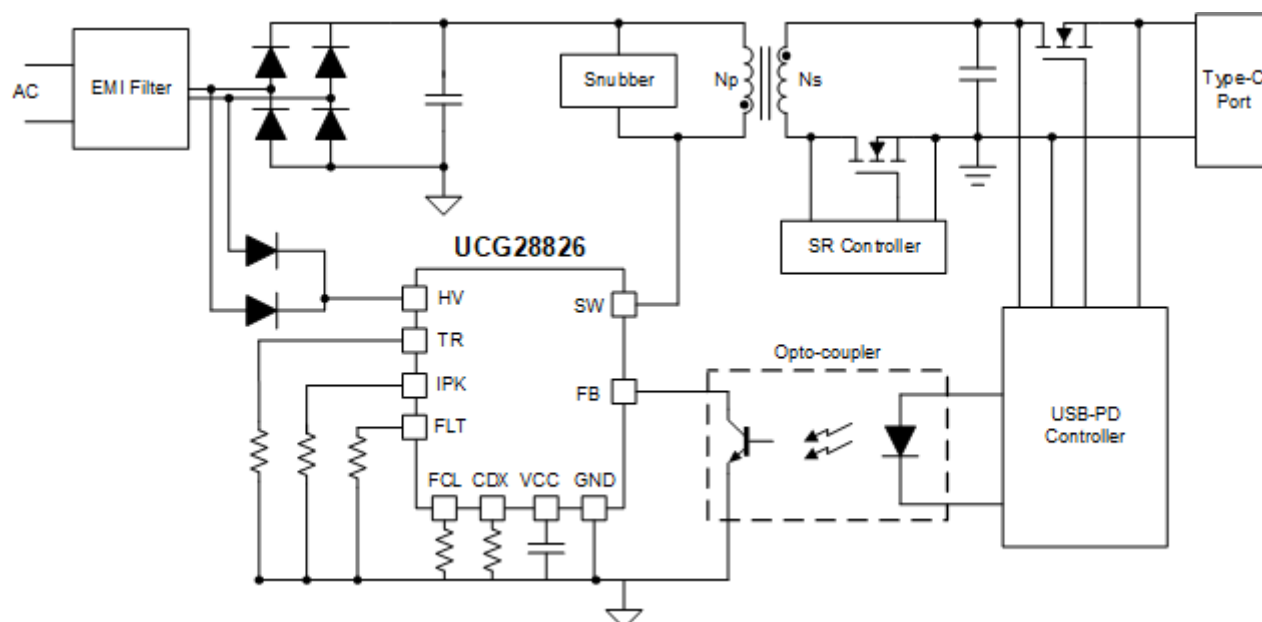


図 8. UCG28826 を使用した自己バイアス型 USB PD 設計で、過電力保護や過電圧保護など、さまざまな保護機能を正確に提供できます。出典:テキサス・インスツルメンツ

図 9 は、単一故障状態であるフィードバックピンを意図的に切断した後の過電圧保護波形を示しています。コントローラは出力電圧を検知し、公称出力 20V に対して出力が約 24.4V まで上昇すると、それに応じて過電圧保護を起動します。

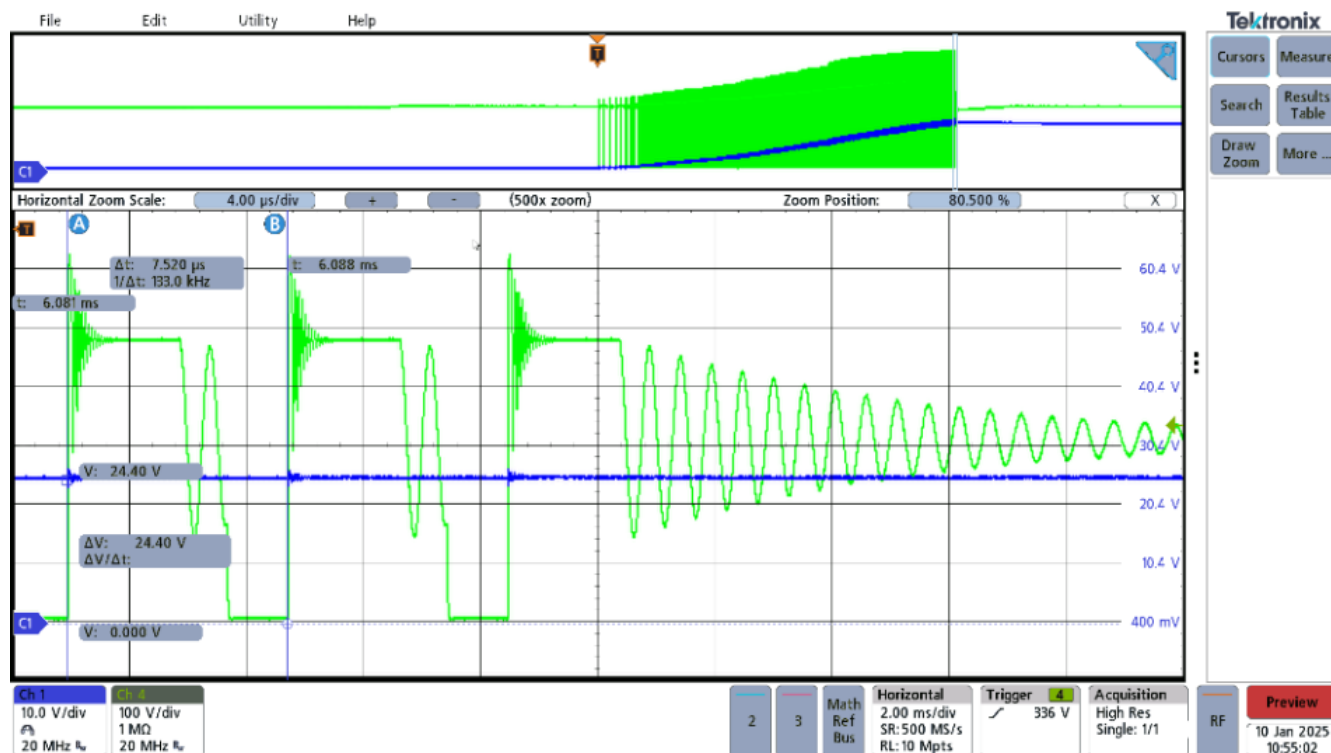


図 9. 過電圧保護のための補助なしセンシングの例。チャンネル 1 (CH1) は Vout、チャンネル 2 (CH2) は Vsw です。出典：テキサス・インスツルメンツ

プロトタイプとテスト結果

図 10 は、GaN パワースイッチを内蔵した TI のユニバーサル AC 入力 65W デュアル USB Type-C ポート USB PD 充電器のリファレンスデザインを示しています。UCG28826 に搭載された簡素化されたセルフバイアス機能と内蔵 GaN スイッチにより、このリファレンスデザインは AC/DC ステージで 2.3 W/cm^3 の電力密度と 93.2% の効率を実現しています。また、補助なし設計により、トランス製造が簡素化され、コストが削減されます。表 1 は、参考のために 65W 設計の設計パラメータをまとめています。

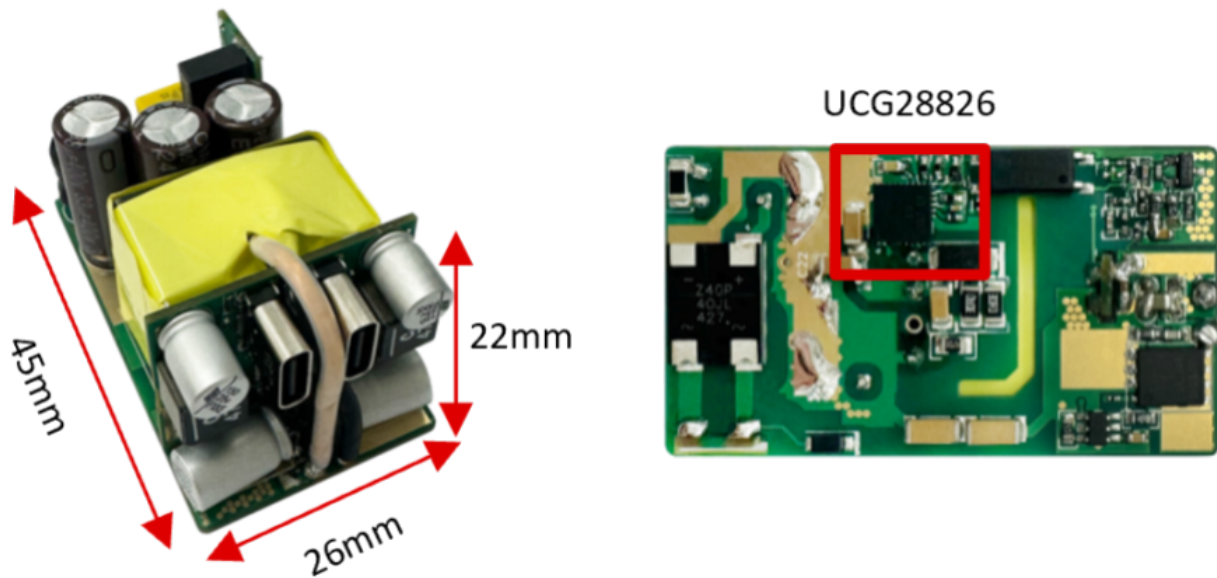


図 10. ユニバーサル AC 入力 65W のリファレンスデザインボード。出典: テキサス・インスツルメンツ

表 1. ユニバーサル AC 入力 65W のリファレンスデザインパラメータ。

パラメータ	値
AC 入力電圧	90-264V _{AC}
出力電圧と電流	5 ~ 20V、最大 3.25A
トランス	ATQ23-14
巻数比	7 ~ -1
トランスのインダクタンス	200μH
スイッチング周波数 (全負荷)	90 ~ 140kHz
効率	90V _{AC} で 93.2% (AC/DC 段のみ)
電力密度	2.3 W/cm ³

簡易 USB PD 充電器

コントローラと GaN スイッチとの高度な統合により、USB PD 充電器の設計を簡素化できますが、コントローラのバイアス回路とトランス上の関連補助巻線は依然として残っており、効率を低下させ、サイズとコストに影響を与えます。

統合型自己バイアス回路を採用することで、その部分の回路を省略でき、広範囲出力対応の電源の電力密度を向上させることができます。さらに、トランスに補助巻線がない場合でも、適切な入力および出力電圧検出を実現可能です。

関連コンテンツ

- [GaN 充電器の接着を解除する](#)
- [USB Type-C PD 3.0 の仕様、充電、設計](#)
- [パワー ヒント #138: トーテムポールブリッジレス PFC の制御ループを閉じる 3 つの方法](#)
- [パワー ヒント #127: 高度な制御手法を用いた GaN ベースの PFC の電力密度の向上](#)
- [パワー ヒント #115: GaN スイッチ統合により PFC で低 THD と高効率を実現する方法](#)
- [Power Tips #131: 1 kW の高密度 LLC パワーモジュール用平面トランスサイズおよび効率最適化アルゴリズム](#)

この記事は、以前 EDN.com で公開された記事です。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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