

*Application Note***M-CRPS 電流監視出力に XTR200 を使用する方法**

John Caldwell

概要

サーバー、クラウド、AI アプリケーション用の高性能電源には、出力電流をスケール ダウンして表現する出力電流監視ピンが組み込まれています。この電流監視機能は、さまざまな電圧バス上のリアルタイム出力電流に関する重要な情報を提供します。XTR200 などの電流トランジスタ製品は、電流監視機能を実行するときに役立つ構成要素です。これらのデバイスは、単一の外付け抵抗で指定される伝達関数により、入力電圧を出力電流に変換します。また、XTR200 は、出力トランジスタ、保護回路、診断機能も超小型の 2mm x 3mm WSON パッケージに統合しています。このアプリケーションノートでは、OCP M-CRPS 基本仕様に記載されている要件を満たすように設計された電流監視出力の回路例を示し、エンジニアがこの設計を他のアプリケーションに合わせて調整できるように、関連する設計手順を進めていきます。

目次

1 はじめに	2
2 詳細説明	3
2.1 電流の測定.....	3
2.2 電流伝送.....	4
2.3 追加の出力回路.....	5
2.4 シミュレーション.....	6
3 まとめ	7
4 参考資料	7

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

サーバー アプリケーション用の高性能電源には、出力電流監視ピンが組み込まれており、出力電流をスケール ダウンして表現します。この電流監視機能は、さまざまな電圧バス上のリアルタイム出力電流に関する重要な情報を提供します。複数の電源から供給される電流監視ピンを合わせて、複数のバスの合計出力電流を測定することもできます。

XTR200 などの電流トランシッタ製品は、電流監視機能を実行するときに役立つ構成要素です。これらのデバイスは、单一の外付け抵抗で指定される伝達関数により、入力電圧を出力電流に変換します。また、XTR200 は、出力トランジスタ、保護回路、診断機能を、スペースに制約のある電源やマザーボード PCB 向けに設計された超小型の 2mm × 3mm WSON パッケージに統合しています。

複数企業間の協力による Open Compute Project (OCP) は、モジュール型ハードウェアシステム - 共通冗長電源 (M-CRPS) 基本仕様 [1] と呼ばれる電源に関する規格を定義しました。この規格の資料は、電流監視出力に関するいくつかの要件の概要を明確に説明しています。そのため、複数のメーカーのハードウェア間で相互運用性を実現できます。M-CRPS 電流監視出力の要件については、表 1-1 に概要を示します。

表 1-1. M-CRPS 基本仕様に記載されている電流監視モニタ出力要件の概要

仕様	値	備考
感度	0mA ~ 2mA (0% ~ 200% 定格電流) または 10µA/A (0% ~ 200% 定格電流の範囲)	ユーザーが選択可能
最小帯域幅	40kHz	
コンプライアンス電圧	3.3V	通常または異常な動作条件で IMON 信号が 3.3V を超えないこと
信号遅延	≤ 20µs	電源に外部静電容量なしで、5% ~ 105% の負荷ステップ、8A/µs のエッジレート
入力リーケージ	<500nA	85°C および 12 V で検証済み。電源装置が通電していない、スタンバイ中、またはコールド冗長モードの場合
精度	定格電流 10% で 15% 定格電流 140% で 2%	

2 詳細説明

図 2-1 に、電流監視回路の例を示します。この回路は、電流測定、電流伝送、およびクランプと下位互換性のための追加出力回路の 3 つの部分で構成されています。このドキュメントの設計プロセスでは、50A の定格出力電流容量の仮想的な 12V 電源を使用しますが、これらの概念はすべての電源に適用できます。

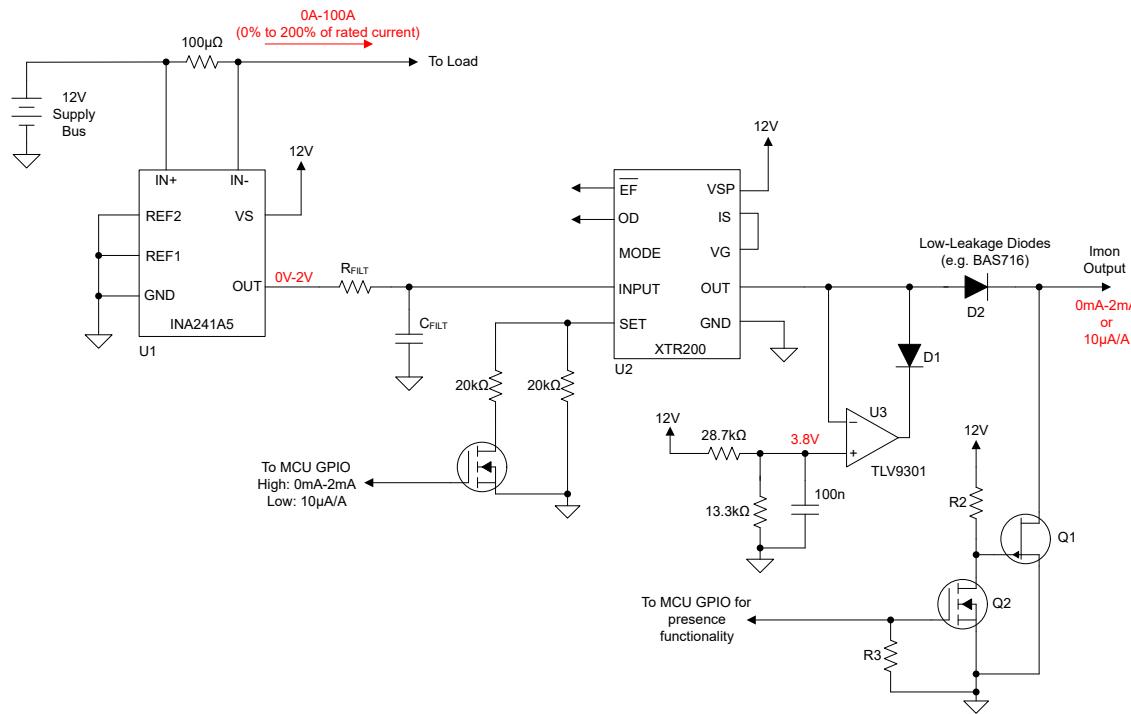


図 2-1. 50A 定格 12V 電源における電流監視出力の概略回路図

2.1 電流の測定

図 2-2 に、回路の電流測定部分を示します。この機能は、INA241 高精度電流測定アンプ [2] をベースにしています。このデバイスは、非常に小さい入力オフセット電圧 (最大 $8\mu\text{V}$) とドリフト (最大 $100\text{nV}/^\circ\text{C}$) により、非常に値の小さいシャント抵抗を実現できます。サンプル回路図に示している $100\mu\Omega$ のシャント抵抗を使用すると、50A の出力電流で 5mV 、 100A で 10mV (定格容量 200%) の電圧降下を生成できます。INA241 の「A5」バリエントは、固定電圧ゲインが 200V/V です。したがって、定格出力電流 200% (100A) で、INA241A5 は 2V の出力電圧を生成します。

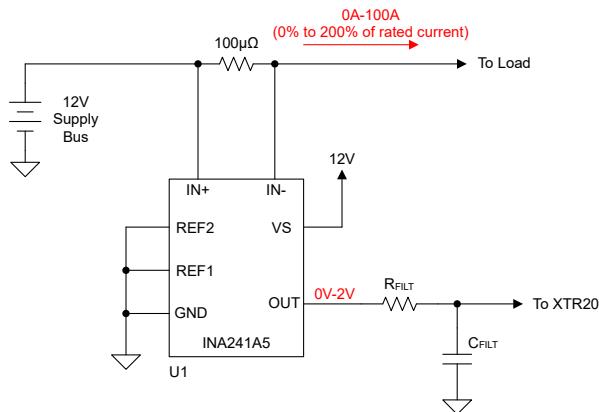


図 2-2. INA241A5 に基づく電流測定部分

INA241A5 の両方のリファレンスピンは、グラウンドに接続されており、出力電流が 0A のときには、INA241A5 の出力が 0V になるようになっています。ただし、INA241A5 の最小出力電圧は最大 20mV と規定されており、これは 100 $\mu\Omega$ のシヤントでの測定可能な最小電流が 1A であることを意味します。最小出力電圧を上回る場合、測定の誤差は主に INA241A5 の最大入力オフセット電圧である 8 μV に起因します。このオフセット電圧は、電流測定の誤差の 80mA、または 10% 定格出力で 1.6% の誤差に相当し、M-CRPS 仕様の許容ガイドラインを十分下回っています。帯域幅制限が必要な場合の R_{FILT} と C_{FILT} で構成されるオプションのローパスフィルタ回路を回路図に示します。INA241A5 のフィルタなしの -3dB 帯域幅は 1.1MHz であり、これにより 20 μs 未満の信号遅延要件を実現できます。

2.2 電流伝送

図 2-3 に示す電流伝送部分では、XTR200 は、SET ピンとグランドの間の抵抗 (R_{SET}) で定義される伝達関数により、INA241A5 からの 0V ~ 2V 出力信号を電流出力に変換します。XTR200 は、2 個のオペアンプ、高精度抵抗、出力トランジスタ、診断および保護機能を超小型の 2mm x 3mm WSON パッケージに統合しているため、この機能にとって非常に便利な構成要素です [3]。

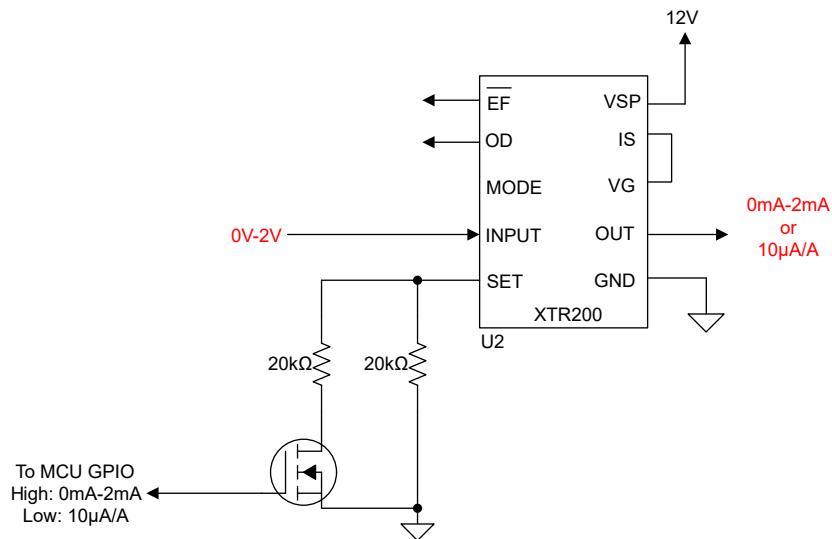


図 2-3. XTR200 による INA241A5 の出力電圧の監視電流への変換

M-CRPS 規格により、電流モニタでは、出力電流のアンプあたりの 10 μA 、または定格出力電流の 0% ~ 200% を表す 0mA ~ 2mA のいずれかの伝達関数をユーザーが選択できる必要があります。したがって、出力電流が 100A のとき、XTR200 は、INA241A5 からの 2V 入力信号に対して 1mA (10 $\mu\text{A}/\text{A}$) または定格出力電流の 200% を示す 2mA のいずれかを供給します。どちらの場合も、 R_{SET} の値は、式 1 および式 2 を使用して計算できます。

$$R_{\text{SET}} = \frac{10 * V_{\text{IN}}}{I_{\text{OUT}}} = \frac{10 * 2\text{V}}{1\text{mA}} = 20\text{k}\Omega \quad (1)$$

$$R_{\text{SET}} = \frac{10 * V_{\text{IN}}}{I_{\text{OUT}}} = \frac{10 * 2\text{V}}{2\text{mA}} = 10\text{k}\Omega \quad (2)$$

2 つの R_{SET} 値が必要なため、NMOS ドレインは、1 つ目の抵抗と並列に 2 つ目の抵抗でスイッチングするように示されています。2 つの 20k Ω 抵抗を使用して、20k Ω または 10k Ω の R_{SET} 値を生成できます。

XTR200 の出力ディスエーブル (OD) ピンを使用して、出力をハイインピーダンス状態にできます。SET ピンの短絡や開放、過熱状態などの故障条件が発生すると、エラー フラグ (EF) ピンは Low になります。XTR200 エラー フラグは通常、開放回路負荷故障を示しますが、この例の回路図では XTR200 の後に配置されたクランプ回路により、開放回路故障の検出が妨害されているので注意してください。図 3 では、XTR200 の IS ピンと VG ピンが短絡しています。これらのピンは、このアプリケーションでは必要な外部トランジスタ用です。これらのピンを短絡することで、XTR200 の内部出力トランジスタは電流監視信号を供給できます。

XTR200 の入力オフセット電圧 (最大 800μV) は INA241A5 より大きいですが、回路の精度はそれほど低下しません。信号路の合計入力オフセット電圧は、XTR200 オフセットを INA241 の入力に換算し、2 つの無相関オフセットを二乗和として組み合わせることで計算できます (式 3 を参照)。

$$V_{OS(\text{Total})} = \sqrt{V_{OS(\text{INA241})}^2 + \left(\frac{V_{OS(\text{XTR200})}}{A_V(\text{INA241})} \right)^2} = \sqrt{(8\mu\text{V})^2 + \left(\frac{800\mu\text{V}}{200\text{V/V}} \right)^2} = 8.94\mu\text{V} \quad (3)$$

これにより、電流測定の合計誤差は 89.4mA、または定格出力 10% で 1.8% になります。これには、100μΩ シャント抵抗の公差、または回路の温度ドリフトは含まれていません。

2.3 追加の出力回路

M-CRPS 規格との互換性を確保するため、XTR200 の出力には、図 2-4 に示すように追加の回路が必要です。ダイオード D1 とオペアンプ U3 はクランプ回路を形成し、(ダイオード D2 の後の) 出力電圧が 3.3V を超えないようにします。XTR200 からの出力電圧が、U3 の非反転入力のクランプ電圧 (回路図では 3.8V) よりも低い場合、U3 の出力は正の電源の逆バイアスダイオード D1 で飽和します。ただし、XTR200 の出力がクランプ電圧を超えると、U3 の出力が LOW になり、D1 を流れる電流をシンクして、両方のオペアンプの入力の電圧が等しくなります。クランプ機能にツェナー ダイオードを使用する場合は、監視電流の精度に影響を及ぼさないように、低リーケージタイプを選択します。

ダイオード D2 は、回路に電力が供給されていない場合に逆電流が電流監視回路に逆流しないように防ぎます。M-CRPS 規格では、85°C と 12V 時に IMON ピンへのリーク電流が 500nA 未満という厳格な要件が定義されています。このため、ダイオード D1 と D2 はどちらも BAS716 などの低リーケージタイプです。ダイオードのリーケージは、温度が 10°C 上昇するごとに約 2 倍になります。したがって、85°C で回路のリーケージが 500nA 未満になるには、25°C でのリーケージが 7.8nA 未満である必要があります。

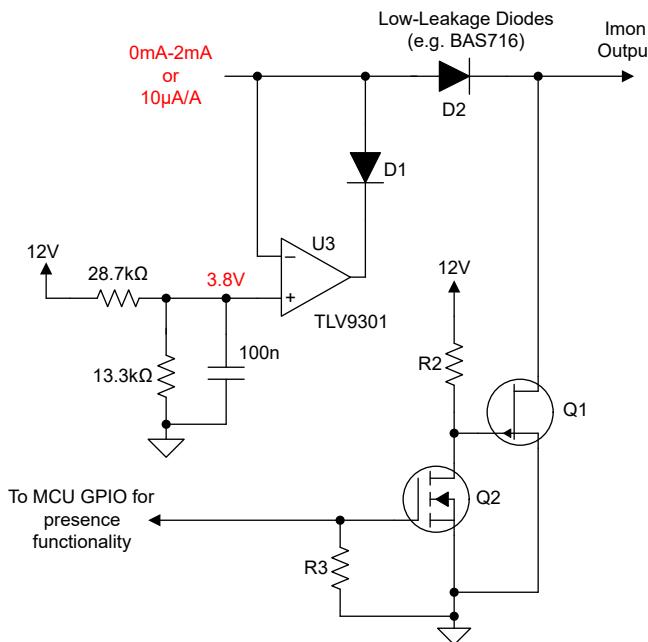


図 2-4. 出力クランプと存在機能回路

トランジスタ Q1 は PJFET であり、IMON ピンを LOW にプルして「存在」機能を実装できます。M-CRPS 規格では、従来のシステムとの下位互換性を確保するために IMON ピンの出力にこの追加回路を推奨しています。Q1 を流れるリーケージはピンの出力リーケージに直接寄与するため、MMBFJ177 などの低リーケージ PJFET をこの機能に使用する必要があります。代表的な NMOS トランジスタのオフ状態リーケージは、標準の要件を満たすには大きすぎます。

2.4 シミュレーション

このセクションのグラフは、さまざまな動作条件での回路の性能のシミュレーション結果を示しています。図 2-5 に、両方の感度で電源出力電流を増加させるための電流監視出力を示します。この回路は、広範囲の電流にわたって優れた直線性をシミュレートします。

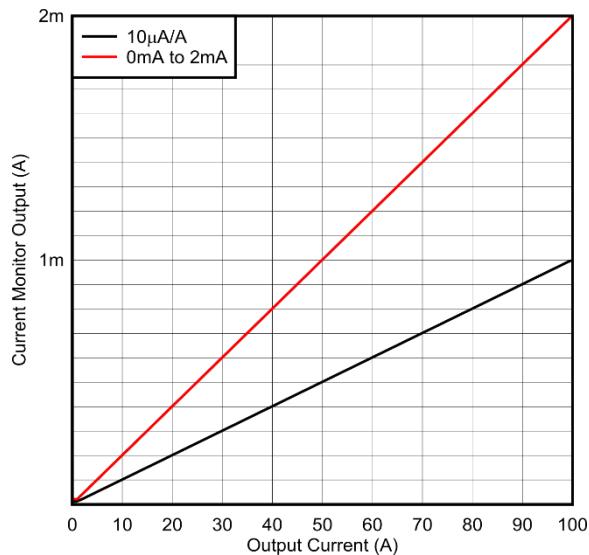


図 2-5. 電流監視出力の DC 伝達特性

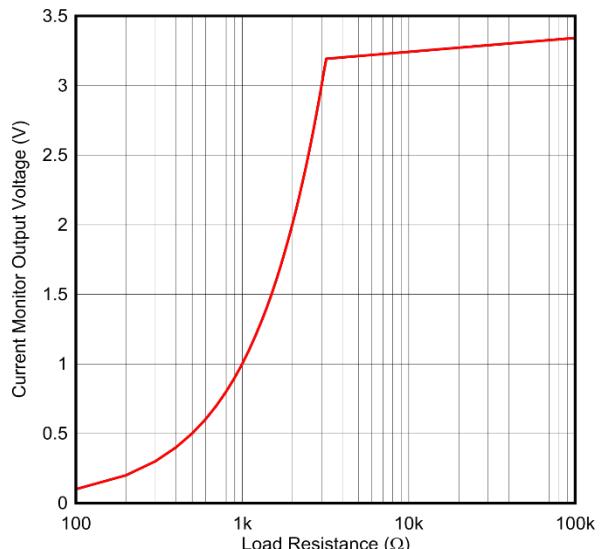


図 2-6. 1mA 監視電流に対する出力電圧と増加する負荷抵抗

図 2-6 に、回路のクランプ機能を示します。このプロットは、1mA 監視電流に対する電流監視ピンの出力電圧を示しています。監視ピンでの負荷抵抗の範囲は、 $100\Omega \sim 100k\Omega$ です。負荷抵抗 $3.3k\Omega$ では、出力電圧が $3.3V$ に達し、監視回路が出力電圧のクランプを開始します。負荷抵抗が増加し続けるにつれ、出力電圧は M-CRPS 規格で求められる $3.3V$ の範囲内で比較的安定します。

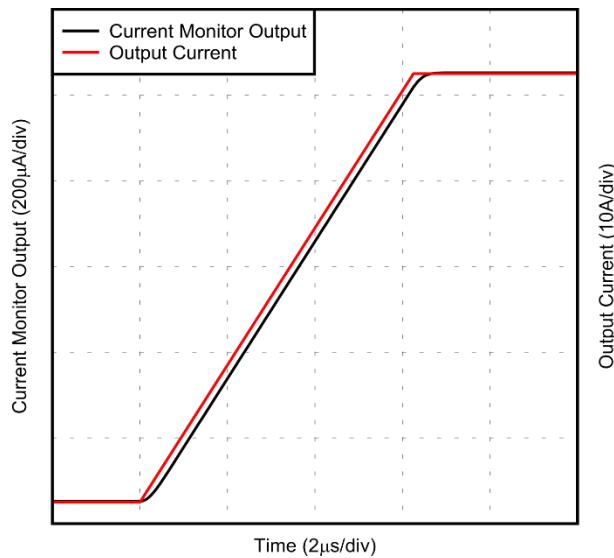


図 2-7. 5% ~ 105% の負荷ステップに対する電流監視出力の立ち上がりエッジ過渡応答

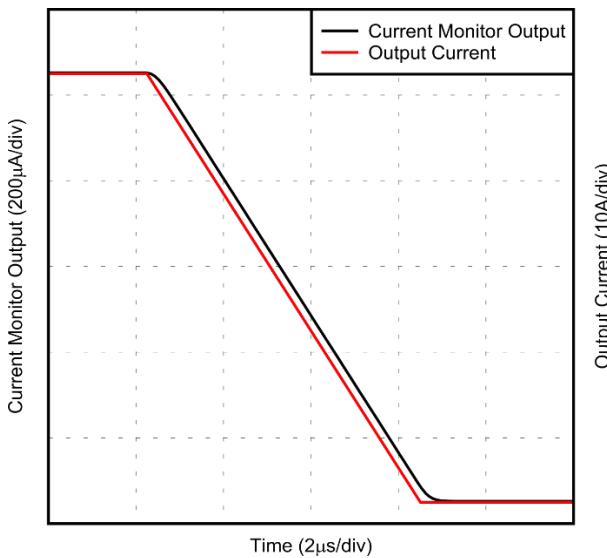


図 2-8. 105% ~ 5% の負荷ステップにおける電流監視出力の立ち下がりエッジ過渡応答

図 2-7 と図 2-8 は、5% ~ 105% (2.5A ~ 52.5A) の負荷ステップに対する監視回路の立ち上がり / 立ち下がり過渡応答を示します (エッジレート 8A/μs で 5% に戻ります)。XTR200 および INA241A5 は帯域幅が広いので、監視電流は、遅延やオーバーシュートを最小限に押さえて電源の出力電流を追跡できます。信号遅延は規格の 20μs 要件を大幅に下回っています。

3 まとめ

この資料では、OCP M-CRPS 仕様に準拠した電流監視回路を設計する際の主な検討事項の概要を説明します。ここに示す回路例では、高精度の電流シャントアンプと XTR200 電流トランスマッタを使用して、12V バス上の出力電流をスケールダウンして表現します。XTR200 を使用することで、ユーザーは、M-CRPS 規格で必要とされる伝達関数を満たすように回路の感度を設定できます。さらに、この回路は、出力電圧を約 3.3V に制限するための出力クランプと、下位互換性のための存在検出機能を搭載しています。この回路の性能のシミュレーションは、優れた精度、過渡応答、クランプ機能を示します。高性能、小型、高集積である XTR200 は、エンタープライズコンピューティングアプリケーションにおける電源の電流監視出力に最適です。

4 参考資料

1. Open Compute Project, [Server/MHS/DC-MHS-Specs-and-Designs](#), Web ページ。
2. テキサス・インスツルメンツ、[INA241](#) 製品フォルダ。
3. テキサス・インスツルメンツ、[XTR200](#) 製品フォルダ。

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默示保証、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、明示的または默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默示保証、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、明示的または默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、(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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月