

Application Note

TPS92205x 降圧 LED ドライバを使用した LED ストロボ アプリケーションへの電力供給



Ari Zhang, Lucia Gao

概要

LED ベースの火災警報用ストロボ製品は、入力エネルギーを最小限に抑えつつ、再現性の高い高強度の光パルスを生成する必要があります。UL 1638/ULC 526 の更新では、定格光出力が最大 20ms の光パルスに基づく必要があるため、LED 電流の立ち上がり時間は、実効ストロボの効率に直接影響します。このアプリケーション ノートでは、ショートパルス ストロボ設計で TPS92205x 降圧 LED ドライバ ファミリを使用する方法について説明し、低デューティ サイクル動作時にデバイスのシャットダウンとソフト スタートの繰り返しを回避することを重視しています。メイン光学パルスより前に内部リファレンス電圧と制御ループを準備するため、プリコンディショニング EN/PWM パルスが導入されています。外部補償、出力容量、インダクタの選択についても説明し、安定した動作を維持しながら、許容可能なオーバーシュートを維持します。

目次

1 概要.....	2
2 ソフト スタートの繰り返しを防止するための EN/PWM タイミング設計.....	3
2.1 TPS922050/1 高速 PWM 調光動作.....	3
2.2 TPS922052/3/4/5 高速 PWM 調光動作.....	3
2.3 タイミング設計ガイドライン.....	4
2.4 テストの検証と結果.....	5
3 ペリフェラル回路パラメータの最適化.....	6
3.1 補償回路.....	6
3.2 C_{OUT}	7
4 まとめ.....	8
5 参考資料.....	8

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

可視火災警報ストロボ製品は、キセノン チューブから LED への移行がますます進んでいます。LED はキセノン ソリューションと比較して、スタンバイ エネルギーとフラッシュ エネルギーの低減、光学設計と機械設計の簡素化、システム寿命の延長、デジタル制御の光プロファイルの実現が可能です。

ただし、LED ベースのストロボ システムは、有効な光エネルギーの大部分を非常に短い時間枠で供給する必要があります。LED 電流がゆっくり上昇すると、LED が定格電流に達する前に、利用可能なフラッシュ持続時間の一部が消費されます。これにより、有効な光出力が減少し、有効カンデラ / ジュールが減少します。したがって、LED ドライバは、メイン ストロボ イベント中に、高速で再現可能、ほぼ正方形の電流パルスを提供する必要があります。

UL 1638 / ULC 526 の 2023 年版では、火災警報システムと信号伝達システムで使用する可視信号デバイスの要件が定義されています。パブリック モードの可視信号デバイスの場合、フラッシュレートは 1 秒あたり 1 ~ 2 回点減する必要があります。また、10% の振幅ポイント間で測定した場合、フラッシュの持続時間は 200ms を超えないようにする必要があります。定格光出力は最大 20ms の光パルスに基づいています。実際のパルス持続時間が 20ms を超える場合、測定された光出力は 20ms の等価値に変換されます。その結果、LED 電流の立ち上がり時間が、要求される実効光出力を満たすための重要な要素になります。

TPS92205x ファミリーは、高効率の LED ストロボ設計に最適です。このデバイスには、パワー MOSFET が内蔵され、高電圧降圧 LED ドライバ動作をサポートし、外付けのセンス抵抗によって LED 電流を制御して、PWM およびアナログ調光オプションも提供します。TPS922050 と TPS922051 は 1-A および 2-A アプリケーションに適しており、TPS922052、TPS922053、TPS922054、TPS922055 はより電流の大きい LED ドライバの設計をサポートしています。

TPS922055 を使用した大電力ストロボ アプリケーションにおいて、設計上の重要な検討事項の 1 つが EN/PWM Low 時間動作です。EN/PWM ピンが長時間 Low に維持された場合、デバイスはシャットダウン状態に移行し、LED 電流がプログラムされたレベルに達する前に、次のパルスはスタートアップおよびソフト スタート シーケンスを行う必要があります。20ms の光パルスを伴う 1Hz のストロボ アプリケーションでは、この遅延により有効な光出力が大幅に減少します。このアプリケーション ノートでは、TPS92205x デバイスを使用して LED 電流の立ち上がり時間とストロボ効率を向上させるためのタイミング制御とペリフェラル回路の最適化方法について説明します。

2 ソフトスタートの繰り返しを防止するための EN/PWM タイミング設計

2.1 TPS922050/1 高速 PWM 調光動作

TPS922050/1 の場合、LED 電流は DIM 入力に追従し、PWM 調光中に高速応答します。図 2-1 に示すように、PWM 入力が高くなると、インダクタ電流はレギュレーション値まで上昇します。PWM 入力 Low のとき、LED 電流はゼロまで低下します。このデバイスは高速 PWM 調光をサポートすることを目的としているため、TPS922050/1 は低電流ストロボの設計に適しています。

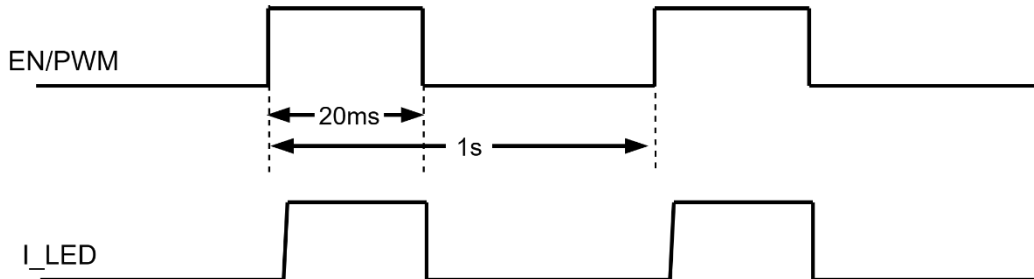


図 2-1. 高速 PWM 調光時の TPS922050/1 の LED 電流応答

2.2 TPS922052/3/4/5 高速 PWM 調光動作

TPS922052/3/4/5 では、デバイスをディスエーブルするためのオフ時間が PWM 入力の最小オフ時間よりも短く保たれている場合、EN/PWM ピンは高速応答をサポートできます ($t_{PWM_IN_OFF}$)。EN/PWM が次よりも長い間 Low のままの場合 $t_{PWM_IN_OFF}$ 、デバイスがディスエーブルになります。次の EN/PWM パルスでデバイスを再度イネーブルし、スタートアップおよび調光モードのエントリ要件を満たして、内部リファレンスと補償パスが安定するようにする必要があります。図 2-2 は、繰り返しソフトスタートを使用すると、各点滅の開始時に LED 電流をゆっくりと上昇させられることを示しています。

データシートでは、スタートアップシーケンスと調光モードのエントリ要件を説明しています。デバイスをイネーブルにするには、EN/PWM で $5\mu s$ よりも長い初期イネーブルパルスが必要であり、内部タイミングシーケンスの後に調光モードが開始されます。アナログ、ハイブリッド、フレキシブルな調光の場合、VREF はミリ秒レベルセトリングを必要とすることがあります。ターゲットリファレンス電圧が $200mV$ のとき、VREF の初期変化は約 $5ms$ です。

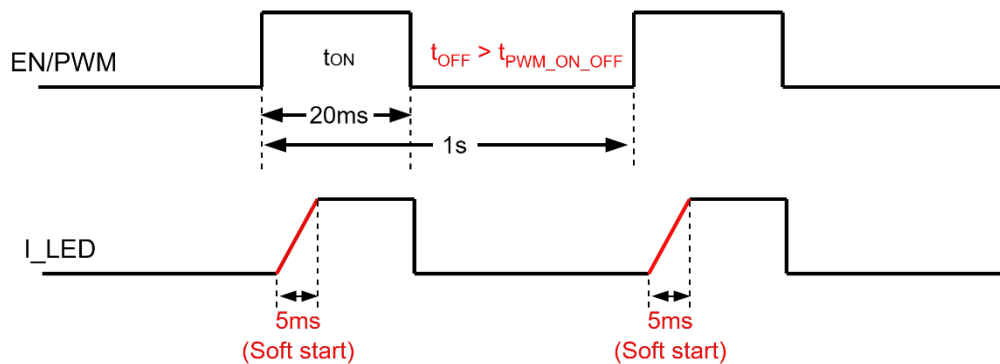


図 2-2. PWM 調光中に繰り返し発生するソフトスタートにより生じる TPS922052/3/4/5 LED 電流遅延

シャットダウンとソフトスタートの繰り返しによって生じる LED 電流遅延を回避するため、通常の PWM ON パルスの前に狭いプリコンディショニングパルスを挿入できます。プリパルスは、有用な光出力を生成することを目的としていません。その目的は、デバイスをウェークアップし、スタートアップおよび調光モードの選択要件を満たし、メイン PWM パルスが開始する前に内部リファレンスパスを準備できるようにすることです。

推奨シーケンスは次のとおりです。

- まず EN/PWM に狭いパルスを印加します。
- その後、制御されたオフ時間の間 EN/PWM を Low に維持します
- 最後に、内部リファレンスが安定化するのに十分な時間が経過した後、通常の PWM ON パルスを印加します。

図 2-3 に代表的な例を示します。

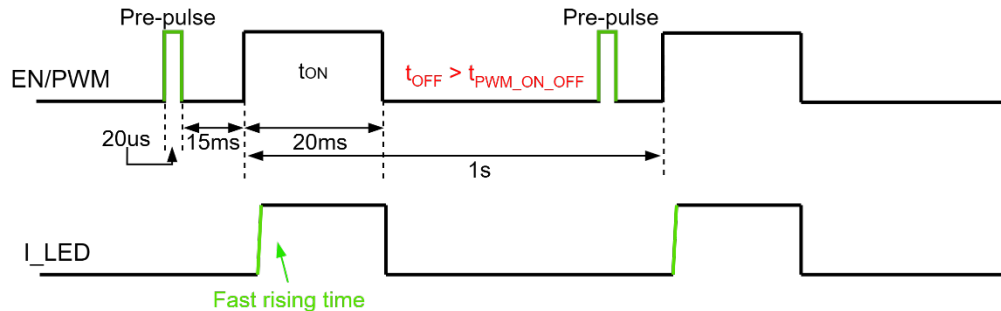


図 2-3. ストロボ動作時のソフト スタート遅延を解消するための EN/PWM プリパルス タイミング

2.3 タイミング設計ガイドライン

表 2-1 に、プリパルス方式の推奨タイミング パラメータをまとめます。次のデータ値は、以下の原則に従って選択されます。

- プリパルス幅については、ドライバと LED 電流パスが十分な応答時間を確保できるように、最小パルス幅をシステム合計遅延時間よりも長くする必要があります。LED 電流がレギュレーションされた出力レベルにまだ十分に安定化されていないように、最大プリパルス幅を制限し、プリパルスが意図しない可視光出力を発生するのを防止する必要があります。
- プリパルス後の制御されたオフ時間では、デバイスがソフト スタートを完了し、内部リファレンス、バイアス回路、制御ループが安定した動作条件に達していることを確認するために、最小オフ時間を十分に長くする必要があります。IC がイネーブルのまま、次の MAIN フラッシュ パルスが発生する準備ができるように、最大制御オフ時間は、デバイスをディスエーブルするのに必要な PWM 入力の最小オフ時間よりも短いままにする必要があります。

表 2-1. プリパルス方式の推奨タイミング パラメータ

パラメータ	推奨値	設計目的	違反した場合のリスク
プリパルス幅、 t_{pre_pulse}	$10\mu s < t_{pre_pulse} < 150\mu s$	デバイスをイネーブルにし、調光モード エントリ ロジックを満たす	長すぎる: 目に見えるフラッシュまたは不要な電流
プリパルス後に制御されたオフ時間、 t_{OFF}	$10ms < t_{OFF} < t_{PWM_IN_OFF}$	別のシャットダウンを回避しながら、内部 VREF / ソフト スタートの安定化を許容します	短すぎると電流がゆっくりと上昇し、長すぎるとデバイスがシャットダウンに再移行する可能性があります
メイン PWM パルス幅	20ms	目的の光出力パルスを生成します	VREF が安定する前に印加された場合、LED 電流は方形波のようになりません

2.4 テストの検証と結果

タイミング設計は、以下のテスト条件で検証されました。Vin = 54V, Vout = 30V, I_LED = 3A。2 つのケースを比較しました。プリパルスを使用せずに繰り返しスタートアップを行う動作と、メイン PWM パルスの前にプリコンディショニング パルスを使用する動作です。

- プリパルスなし

プリパルスが印加されないとき、長いオフ時間にデバイスがシャットダウンに繰り返し移行します。それ以降の各 PWM パルスが完全ソフト スタート サイクルをトリガし、LED 電流の立ち上がり時間は約 5ms と遅くなります。図 2-4 に、目標振幅に達する前に、大幅な遅延が生じた段階的な電流上昇を示します。

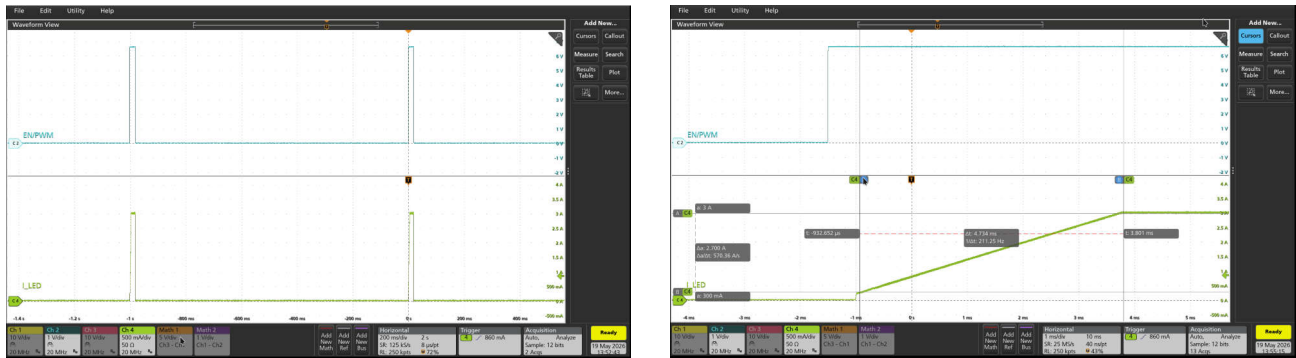


図 2-4. プリパルスなしの LED 電流起動応答

- プリパルスあり

狭いプリパルスを挿入すると、メイン PWM パルスが印加されたときに内部リファレンス電圧と制御ループはすでに安定化しています。図 2-5 で、立ち上がり時間をマイクロ秒単位で大幅に短縮し、ほぼ瞬間的な電流応答を実現することを確認します。

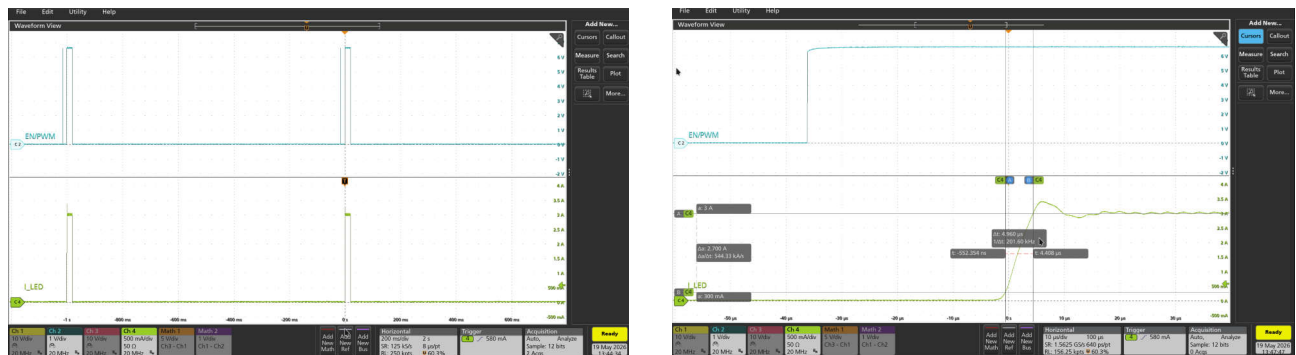


図 2-5. プリパルスありの LED 電流起動応答

3 ペリフェラル回路パラメータの最適化

このセクションでは、外部ループ補償ネットワーク、出力コンデンサ、インダクタが LED 電流のターンオン過渡にどのように影響するかについて説明します。目的は、立ち上がり時間を短縮すると同時に、許容可能なオーバーシュート、ループ安定性、LED 電流ストレス、出力電圧リップルを維持することです。図 3-1 に示す簡略化された降圧 LED ドライバの電力段を、リファレンス回路として使用しています。

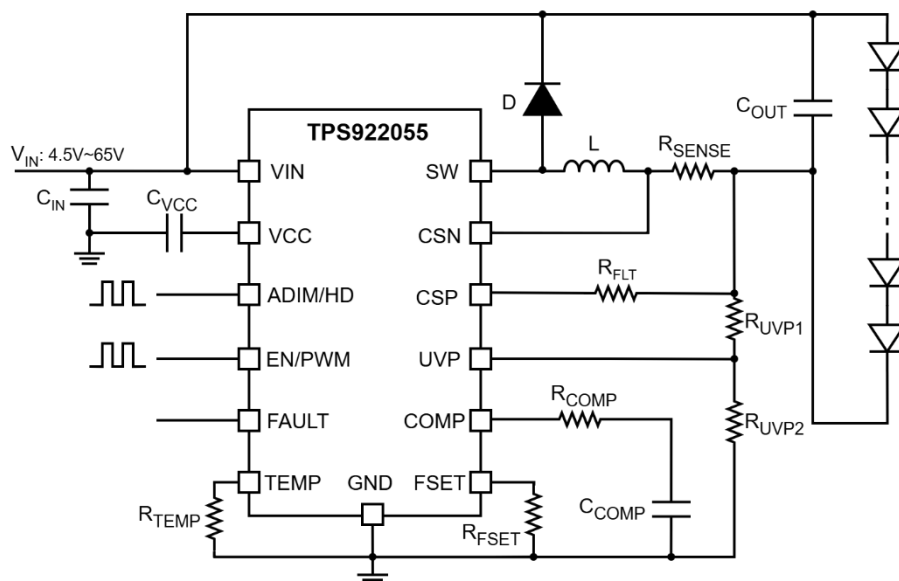


図 3-1. 概略回路図

3.1 補償回路

降圧 LED ドライバの場合、補償回路によって電流レギュレーション ループの動的応答が定義されます。より小型の C_{COMP} 支配的な補償極がより高い周波数に移動するため、理論的なループ帯域幅は広がります。ここで、 R_{COMP} は、次と直列にして使用します C_{COMP} 、補償ゼロはおおよ次のとおりです。

$$f_z = \frac{1}{2\pi \times R_{COMP} \times C_{COMP}} \quad (1)$$

減少 C_{COMP} 支配的な補償極をより高い周波数にシフトし、低周波数から中周波数範囲でループ ゲインを増加させます。その結果、十分な位相マージンを維持すれば、電流レギュレーション ループは、より高いクロスオーバー周波数とより高速な過渡応答を実現できます。図 3-2 および 表 3-1 に、シミュレーション結果を示します。PWM 調光のターンオン中は、この応答が高速であるため、LED 電流が目標値に迅速に到達でき、LED 電流の立ち上がり時間が短縮されます。ただし、より小型の C_{COMP} は、LED 電流オーバーシュートを増加させる可能性があります。したがって、次のようになります。 C_{COMP} 調光応答速度、ループ安定性、ピーク LED 電流のバランスを確保して選択する必要があります。

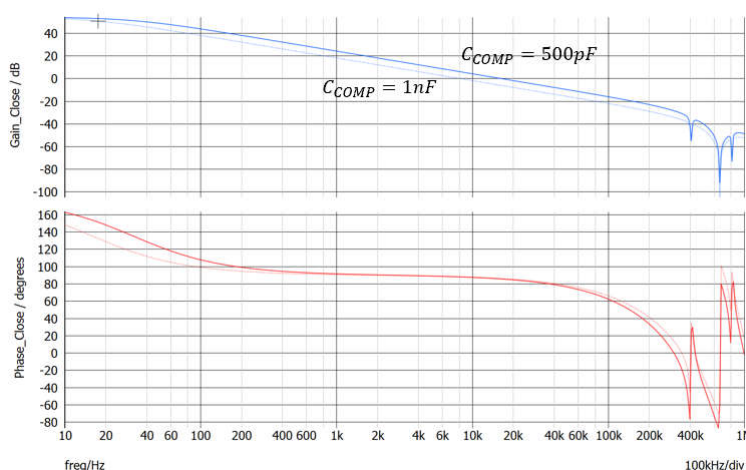


図 3-2. 異なる C_{COMP} によるループ シミュレーション

表 3-1. 立ち上がり時間とピーク電流に対する C_{OUT} の影響

C _{COMP} (pF)	ピーク電流 (A)	立ち上がり時間 (μs)
470	3.81	4.21
690	3.61	4.36
910	3.42	4.92
1000	3.29	6.11

3.2 C_{OUT}

減少C_{OUT}ターンオン時により少ない出力ノード電荷を設定する必要があるため、立ち上がり時間を短縮することもできます。ただし、C_{OUT}は、LED 出力側で主なダンピング素子とリップル フィルタリング素子でもあります。その結果、極端に小さいC_{OUT}が、LED 電流リップル、出力電圧リングング、遷移時のピーク電流を増加させることがあります。実用的なターゲットは、最小を選択することでC_{OUT}ライン、負荷、温度、調光周波数の各条件にわたって、LED 電流のリップル、オーバーシュート、音響ノイズ、EMI の要件を引き続き満たします。

表 3-2. 立ち上がり時間とピーク電流に対する C_{OUT} の影響

C _{OUT} (μF)	ピーク電流 (A)	立ち上がり時間 (μs)
1	3.73	4.32
2.2	3.42	4.92
3.2	3.38	6.71
4.4	3.29	7.08

4 まとめ

LED 火災報知用ストロボ アプリケーションでは、ドライバは短い定格パルス内で有効な光エネルギーを供給する必要があります。EN/PWM プリコンディショニング パルスが狭いため、デバイスはウェークアップして、20ms のメイン光パルスよりも前に内部リファレンスと制御ループを準備できます。ベンチ データは、プリパルスなしの約 5ms からプリパルスで約 5μs までの立ち上がり時間の改善を示しています。タイミング スキームを適切に設定し、 C_{COMP} 、 C_{OUT} およびインダクタ値を最適化して、立ち上がり時間をさらに改善すると同時に、オーバーシュート、リップル、EMI、LED ストレスを制御できます。推奨される設計アプローチは、まずタイミングを最適化し、次に測定された電流波形を使用して電力段の部品を調整し、最後に最適なソリューションを見つけることです。

5 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『TPS922050/1 65V 1A/2A 降圧 LED ドライバ、PWM / アナログ調光付き』、データシート。
2. テキサス インスツルメンツ、『TPS92205x 65V 2A/4A 降圧 LED ドライバ、誘導性高速調光機能あり』、データシート。
3. UL 1638 [UL 1638](#)、Web ページ。

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](https://www.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