

ナノIQ システムにおける性能課題への取り組み



Vishnu Ravinuthula
Design Director
Battery Management Solutions

Contributors:

Siddharth Sundar
Business Lead
Battery Monitor Products

Vladislav Merenkov
Product Marketing Manager
Boost Converters and Controllers

Alan Lee
Product Marketing Manager
Battery Charger Products

Vinod Menezes
Senior Technologist
Voltage References and Supervisors

このホワイトペーパーは、異なる電源アプリケーションにおいてナノ I_Q (静止電流) を実現するさまざまな設計メカニズムとその課題について説明します。

概要



さまざまな電源アプリケーションにおけるナノ I_Q の重要性

1

デバイスの世代を追うごとにバッテリー寿命を向上させる必要性が高まっており、 I_Q 低減が求められています。



産業用 BMS モニタにおけるナノ I_Q の実現

2

必要なときだけデバイスの重要な機能を有効にする電力モードに切り替え、回路レベルの技術革新を活用して I_Q を低減します。



電圧スーパーバイザにおけるナノ I_Q の実現

3

ナノ I_Q (静止電流) は、バッテリー寿命の延長を可能にするために必要であり、一方、低レイテンシは、迅速なフォルト通知のために必要です。

チップがスタンバイモードにあるとき、その消費電力は低静止電流 (I_Q) によって定義されます。これは、回路が何の負荷も駆動していない静止状態を意味します。低 I_Q により、バッテリー管理システム (BMS) モニタ、BMS チャージャ、電圧スーパーバイザ、DC/DC コンバータなど、バッテリー駆動の車載用コンポーネントおよび産業用コンポーネントのスタンバイ動作時間を延長できます。ただし、優先度の高い機能や必要不可欠な機能安全に関連する機能を維持し、アクティブモードへの高速なシステムウェークアップを実現するために、これらのデバイスはスタンバイモードで一定量の I_Q を消費する必要があります。

さまざまな電源アプリケーションにおけるナノ I_Q の重要性

デバイスの世代を追うごとにバッテリー寿命を向上させる必要性が高まっており、 I_Q の低減が求められています。これらのデバイスは、通常モード、スリープ / スタンバイモード、またはシャットダウンモードで動作するように構成できます。通常モードは電源アプリケーションのミッションプロファイル [1] のごく一部にしか過ぎず、この種の製品はほとんどの時間スタンバイモードになっています。電源からの消費電流は、高速通信のバーストが発生する通常モードでは数ミリアンペア、スリープモードやスタンバイモードに入ると数ナノアンペアとなります。ナノアンペアレベルの動作モードでは、バッテリー寿命を延長するために電力を節約することができます。

このホワイトペーパーでは、産業用および車載用の BMS バッテリー電圧モニタ、チャージャ、DC/DC コンバータ、電圧スーパーバイザなど、さまざまな電源アプリケーションでナノ I_Q を実現する設計メカニズムについて、課題とともに説明します。一方では、ナノ I_Q はバッテリー寿命の延長を可能にするために必要であり、他方では、集積回路 (IC) はシステムウェークアップなどの機能を維持するために一定量の I_Q を消費する必要があります。

産業用 BMS モニタにおけるナノ I_Q の実現

電動工具や電動自転車のような多くのバッテリー駆動製品は、さまざまな電力状態において機能性と I_Q のバランスをとる必要があります。たとえば、(トリガを引いた) アクティブ状態の電動工具は数アンペアの電流を消費し、電動工具で使用されるバッテリーモニタの I_Q は、システムの他の部分に対して無視できるほど小さくなります。ただし、この同じバッテリー駆動の電動工具は、基本的な保護機能を有効にした状態で、スリープモードで何時間または何日もテーブルの上に置かれている可能性があります。また、電動工具はトリガを引いたときに素早く

反応できなければなりません。このような低電力状態では、BMS モニタが消費する I_Q の方がはるかに重要になります。保護機能が有効なスリープモード、(システム マイクロコントローラ [MCU] のメモリを保持するために) イネーブルにした電圧レギュレータ、A/D コンバータを介したデューティサイクルの電圧、電流、温度の測定により、システムは完全に保護され、迅速な応答が可能であると同時に、アクティブモードに比べて消費電力を 1/10 以上削減することができます。テキサス・インスツルメンツの産業用モニタにはさまざまなスリープモードオプションがあります。保護機能を有効に保つ(放電パスをイネーブルに保つ)かどうか、低ドロップアウトレギュレータをイネーブルにするかどうか(システム MCU がメモリを保持し、ミリ秒単位ではなくマイクロ秒単位で回復できるようにする)かどうか選択できるほか、電圧、電流、温度を測定するデューティサイクルオプションにより、消費電力と性能を最適化するためにカスタマイズできる、安全で動作可能なスリープモードを実現できます。

車載用 BMS モニタにおけるナノ I_Q の実現

一般的に、バッテリー制御ユニット (BCU) は BMS のプライマリ MCU を搭載しており、12V バッテリーから電力を供給されます。この MCU は 12V では動作しないため、電源を生成するための DC/DC コンバータまたはパワー マネージメント IC が基板上に実装されます。MCU からのシリアル ペリフェラル

インターフェイス / ユニバーサル非同期レシーバトランスミッタの通信プロトコルを、セル モニタ用の絶縁ダイジーチェーンに変換する BMS ブリッジ デバイスも BCU 上にあります。

12V バッテリーは車両が動いている間も充電されるため、12V レールからの消費電流は重要視されません。車両が駐車中で充電されていない場合、高電圧コンタクトが開いているので、>400V バッテリーはシステムから切り離され、12V バッテリーを充電することはできません。それにもかかわらず、12V バッテリーは、BCU や他の常時オン機能 (キー フォブのロックやロック解除など) に、明確に定まっていないものの必要な期間だけ電力を供給する必要があります。こうした常時オン デバイスでは、低消費電力が重要です。

通常、受託製造 (OEM) では、すべての常時オン機能のために、12V バッテリーから 100 μ A を超える平均電流を消費するのは避けたいと考えています。BCU を完全にオフにすると、BMS の消費電力は最小限に抑えられますが、セルが損傷して危険な状態になった場合、システムは反応できないままになってしまいます。その代わりに、OEM 各社は MCU を超低消費電力状態に移行させ、ブリッジ デバイスの逆ウェークアップ機能に依存します。図 1 に示すように、この機能を使用すると、重大な故障が発生した場合にセル モニタがブリッジ デバイスに警告を送信し、ブリッジ デバイスが MCU をウェークアップして故障に対応できるようにします。

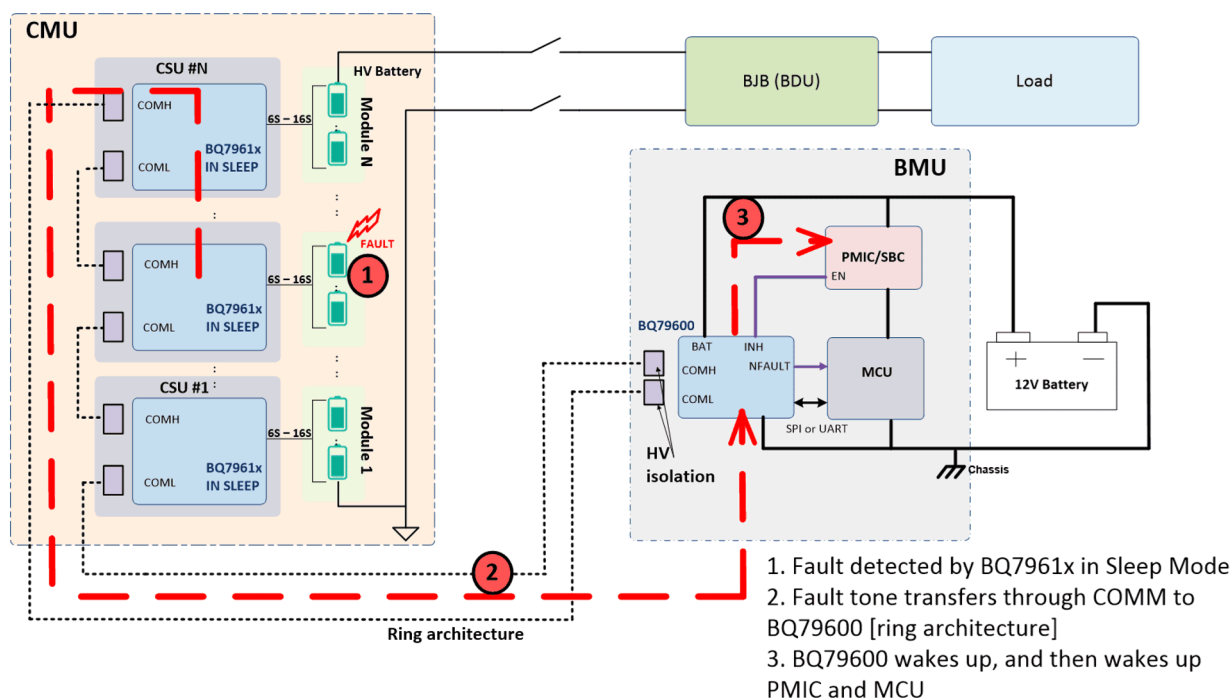


図 1. 逆ウェークアップ

ブリッジ デバイスの消費電力が小さいほど、12V バッテリーを使い切ることなく、車両をより長い時間駐車してバッテリーを安全に監視することができます。TI BQ79600 の消費電流は、スリープ モードで $<7\mu\text{A}$ なので、12V バッテリーが完全に放電するリスクが少なくなっています。

産業用ホーム オートメーション チャージャにおけるナノ I_Q の実現

インターネット接続されたデバイスを使用することで、家電製品やシステムのリモート監視や管理が可能になり、住まいのスマート化が進んでいます。スマート ホーム アクセサリとして不可欠なビデオ インターホンは高解像度の画像と双方向のオーディオ通信を提供しているため、スマートフォンを使用して訪問者を迎えることができます。ほとんどのビデオ インターホンは 12V~16V の電源電圧に接続されていますが、既存の配線や変圧器が古くなったり互換性がない場合、多くの消費者がソーラーまたはバッテリー駆動のビデオ インターホンを探しています。ワイヤレス接続とインターホンのボタン操作をサポートするため、バッテリーは通常非常に小さくなっています。テキサス・インスツルメンツの **BQ25622** および **BQ25638** の各降圧チャージャは、バッテリーのみのモードでは I_Q が $1.5\mu\text{A}$ 、シャットダウン モードでは 100nA となり、製品

のライフ サイクルを通してバッテリー駆動時間を最大化および延長するためのパワー パスを備えています。

必要なときだけデバイスの重要な機能を有効にすることで、これらのチャージャの I_Q を低減し、安全上の理由から TS ピン経由でバッテリーの温度を監視する機能を備えています。図 2 に示すように、チップ内蔵スイッチにより、TS_BIAS ピンに接続されている外部サーミスタ ネットワークが 5V REGN ピンから絶縁されています。このアーキテクチャにより、1% のデューティ サイクルで内蔵スイッチを有効にすることで、チャージャの I_Q に影響を及ぼすサーミスタのバイアス電流を 99% 除去できます。

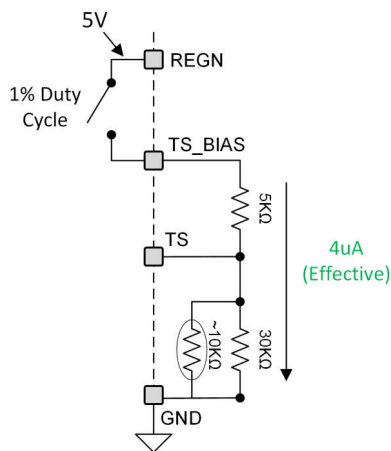


図2. BQ25622 および BQ25638 の TS_BIAS ピン

出荷モードでバッテリー電力を維持しながらシステム電圧をオフにすると、 I_Q をさらに低減できます。図3に示すように、BQ25622 および BQ25638 は双方向ブロッキング内部電界効果トランジスタ (FET) (Q4) を内蔵しており、オフ状態のときはシステムからバッテリーを絶縁します。出荷モードは、製品が工場で梱包されるときだけでなく、デバイスのバッテリー残量が少なくなったときや、製品の電源をオフにしたいときにも便利です。

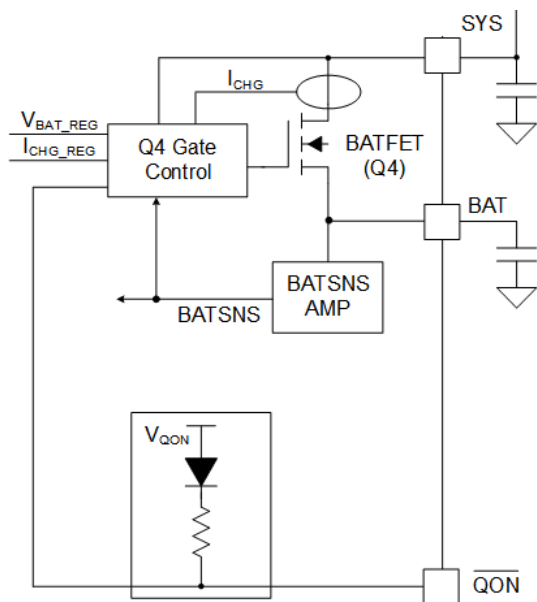


図3. BQ25620 のブロック図

車載用 BMS チャージャにおけるナノ I_Q の実現

2018 年、欧州連合 (EU) は、欧州市場で販売されるすべての車両に緊急通話 (eCall) システムの搭載を義務付けました。

これにより、重大な自動車事故が発生した場合に自動的に救急隊に連絡し、GPS 座標を現地の緊急サービスに送信し、エアバッグの展開と衝撃センサの情報をワイヤレスで送信します。eCall システムには、車両のバッテリーとは独立した独自のバッテリーが搭載されています。このバッテリーは、10~15 分間の通話が可能で、最初の通話から 60 分間は携帯電話ネットワークに接続され、いつでも操作できる十分なエネルギーを持っていなければなりません。BQ25171-Q1 チャージャ IC は、車両がオンのときに eCall バッテリーを充電するという重要な役割を果たします。車両がオフの場合、このチャージャ IC はスリープモードに移行し、バッテリーからわずか 350nA の電流しか消費しません。低 I_Q は eCall のスタンバイ時間を延長し、緊急対応に備える助けとなります。

電圧スーパーバイザにおけるナノ I_Q の実現

スタンバイモードの場合、車載 OEM 各社には電源電圧レール上にあるすべての電子機器 (電源スーパーバイザ、ロードスイッチ、保護過渡電圧抑制ダイオード、DC/DC コンバータなど) に対して 100 μ A のバジェットがあります。電圧スーパーバイザのナノ I_Q レベルにより、車載 OEM はこのシステムレベルのスタンバイモード I_Q バジェットを満たすことができます。スタンバイ I_Q が低下しても、電圧スーパーバイザデバイスはスタンバイ故障に対する応答時間を緩和することはできません。機能安全要件ではデバイスの故障応答が規定されています。この故障応答は、検出から故障報告までのフォルトトレラント時間間隔によって定義され、100 μ s の範囲から 10 μ s 未満の範囲へとスケールされます。

スレッショルド検出精度が 1.5% の従来型の電源電圧スーパーバイザソリューションでは、プリント基板 (PCB) 上にディスクリット抵抗を備えた構成可能な分圧器が使用されていました。システムの I_Q を低減するには、これらのディスクリット抵抗の値を数十メガオームまでスケールアップする必要があります。PCB 設計者は通常、面積の制約上、基板に高インピーダンスの検出抵抗ラダーを追加しないため、抵抗ラダーは TPS37-Q1 ウィンドウスーパーバイザのダイに統合されています。電圧リファレンスのデューティサイクルを行い、リファレンスをコンデンサに保存し、内部センス抵抗ラダーを定抵抗領域と定電流領域の間で再構成された非線形抵抗ラダーとして構成し、高電圧で非常にインピーダンスの高いセンスラダー

一を作成することにより、リファレンスパス上で低 I_Q が可能となります。

TPS37-Q1 などのワイド V_{IN} ウィンドウ スーパーバイザは、外部高電圧入力と内部サブレギュレート電圧の間の電圧スイングに対応する必要があります。動的回路は立ち上がり立ち下りの両方の遷移を検出し、外部高電圧ドメインと内部レギュレートドメインの間のレベルシフタの性能を一時的なターボモードに引き上げて、低 I_Q を実現しながらシステムの応答時間を改善します。

産業用およびパーソナル エレクトロニクス用 DC/DC コンバータにおけるナノ I_Q の実現

計量システム、煙探知器、スマートウォッチ、医療用センサ、補聴器のようなバッテリー駆動システムでは、1 つまたは 2 つの電圧レールを常に有効にして、システム MCU、重要なセンサ、通信バスなどに電力を供給します。これらの常時オンのレールは、バッテリー動作時間を延ばすために非常に高い効率を必要とし、 I_Q の低減が非常に重要になります。

TPS62843 降圧コンバータは、50 μ A~300mA の負荷電流用に最適化されており、パワーセーブモード、275nA の動作 I_Q 、4nA のシャットダウン電流を備えています。**TPS63901** 昇降圧コンバータと **TPS61299** 昇圧コンバータは、コインセルバッテリーのような高いピーク電流に対応していないバッテリーを保護するために、入力電流制限機能を備えています。

TPS63901 コンバータは、動的な電圧スケーリング機能を備えており、動作中に 2 つの出力電圧を切り替えることができるため、スタンバイモードではより低いシステム電源電圧を使用して電力を節約できます。図 4 に示すように、これらの DC/DC コンバータの抵抗 / デジタル (R2D) 回路によって出力電圧が設定されるため、帰還抵抗のリーク電流をなくすことができ、ソリューションサイズが小さくなり、設計コストが下がります (出力電圧の選択に必要な抵抗が 1 つ減るため)。

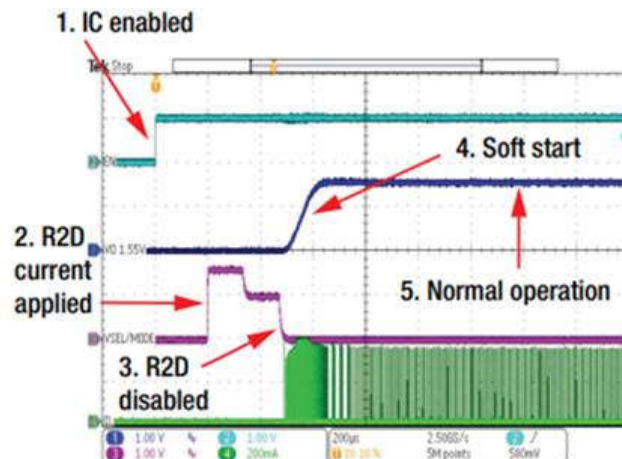


図 4. 電源 IC がイネーブルになり、その後、2 つの電流源レベル、ソフトスタートと通常動作で R2D 回路が動作します。

図 5 に、**LMR36502** 降圧コンバータと **TPSM365R15** 降圧モジュールの超低動作 I_Q のグラフを示します。4 μ A の動作 I_Q は、常時オンのレールの動作に必要な 20V~60V の動作電圧範囲全体にわたって比較的一定に保たれており、バッテリー寿命の延長に寄与します。

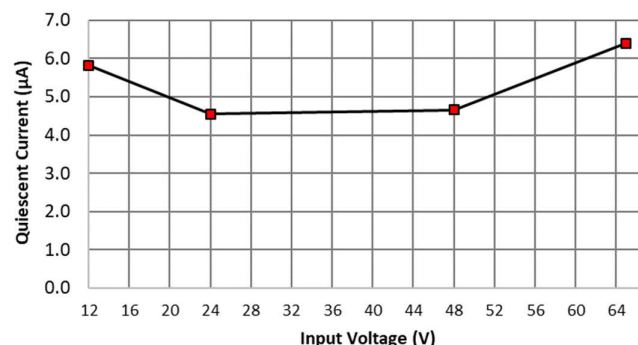


図 5. $F_{sw} = 1\text{MHz}$ 、 $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ での **LMR365R0X** と **TPSM365R15** の I_Q

車載用 DC/DC コンバータにおけるナノ I_Q の実現

センサ、e-call (緊急通話) システム、ゾーン制御ユニットなど、常時オンの車載用アプリケーションには、長いスタンバイ時間と、軽負荷時の高効率が非常に重要なものが多くあります。**LMQ66430-Q1** 降圧コンバータは、こうした課題を解決するために設計されており、1mA 負荷で >85% の効率を達成し、13.5V $_{IN}$ で 1.5 μ A の無負荷時の標準消費電流を可能にします。IC は、起動時に V_{OUT}/FB ピンのインピーダンスチェックを実行します。外部帰還抵抗が検出されない場合、デバイスは 3.3V または 5V の固定出力電圧を設定する内部帰

還回路を自動的に使用し、帰還回路を介したリークを最小限に抑え、 I_Q を低減することができます。LMQ66430-Q1 は、内部の低ドロップアウトレギュレータ (LDO) を使用して、IC の内部回路に電力を供給します。LDO に入力電圧を供給して効率を低下させるのではなく、LMQ66430-Q1 は V_{OUT}/FB ピンからの同じ電圧を利用して内部 LDO に電力を供給して、合計 I_Q を最小化するためにすべての内部回路をバイアスします。

もう 1 つの降圧コンバータである **TPS62903-Q1** は、R2D インターフェイスを使用して出力電圧を設定し、リーク電流を低減することができます。TP62903-Q1 は負荷が減少するとシームレスにパワーセーブモードに移行します。この状態では、軽負荷条件下で **図 6** に示すように、IC は高効率を維持するためにスイッチング周波数を下げること、パルス周波数変調 (PFM) モードで動作します。これにより、標準的な I_Q が $4\mu A$ に低下します。

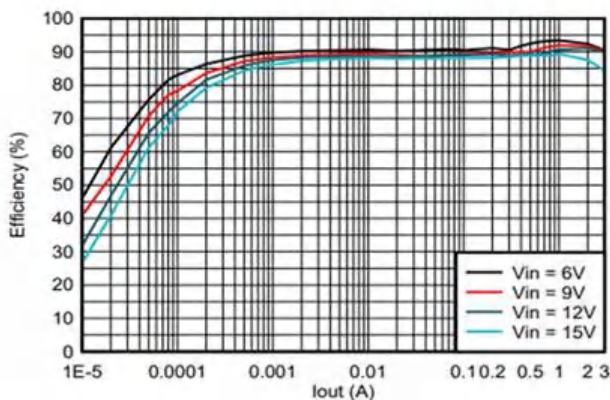


図 6. 効率と出力電流 (2.5MHz で 3.3V 出力、 $1\mu H$ 、自動 PFM またはパルス幅変調)

まとめ

テキサス・インスツルメンツのプロセステクノロジーによっ実現されたナノ I_Q と高電圧電源チップの性能を組み合わせることで、さまざまなタイプの電源アプリケーションにおけるスタンバイ動作時間を延長することができます。システムや IC の設計に I_Q 目標を設定するには、最終製品のミッションプロファイルを理解することが非常に重要です。

参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ:『**低消費電力アプリケーションで低静止電流 (I_Q) の課題を克服する方法**』
2. Zhou, D. et al.『バックアップ電源アプリケーション向け DC/DC コンバータのミッションプロファイルに基づくシステムレベルの信頼性分析』IEEE Transactions on Power Electronics 33, No. 9 (2018 年 9 月)。

その他の資料

- 低静止電流の詳細については、『**低静止電流 (I_Q)**』を参照してください。
- 技術記事『**低静止電流 (I_Q) テクノロジーを活用し、システムの性能を犠牲にせずにバッテリー動作時間を延長する 3 つの方法**』をご覧ください。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

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

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、

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated