

Application Note

BMS システムでの断線検出

Nanxiao Zhong, Kian Lin, Jayden Li

概要

電気自動車 (EV) やエネルギー ストレージ システムにおいて、BMS 電圧センス、バッテリー端子、電流センス パスで断線故障が発生すると、測定値の誤りや保護機能の信頼性低下を招く恐れがあります。このアプリケーション ノートでは、BMS ハードウェアとシステムの安全性の設計者を対象として、TI の BQ76952、BQ78706、BQ79731 の各デバイスを例に挙げ、セル入力の断線動作と実践的な診断を説明します。セルセンス入力の AFE 内部電流源放電方法、バッテリー端子検出のための VBAT/VC_n 比較、電流シャント センス パス用の GPIO ベースまたは冗長 ADC 方式について説明します。これらの方式は、コンデンサの残留電圧や電流情報の欠落に起因するシステムの不安全な判断に至る前に、ハーネスの接続外れを検出するのに役立ち、BMS の診断範囲、機能安全、システムの信頼性が向上します。

目次

1 はじめに.....	2
2 CELL 断線検出フロー.....	2
2.1 VC ₁ - VC _{n-1} 断線検出.....	2
2.2 VC _n 断線検出.....	3
2.3 VC ₀ 断線検出.....	3
3 シャント断線検出.....	4
3.1 シャントの断線検出ソリューション.....	4
3.2 冗長 ADC を使用した電流センス診断.....	5
4 その他の診断: VBAT、VSS.....	6
4.1 VBAT 断線検出.....	6
4.2 VSS 断線検出.....	7
5 まとめ.....	7
6 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

故障診断は、BMS の機能安全にとって非常に重要なトピックの 1 つであり、信頼性の高いシステム動作を確保するために必要です。BMS には通常、多くのワイヤ ハーネスが搭載されています。センシング用ハーネスが外れたり断線したりすると、システムに深刻な影響を及ぼす可能性があります。このアプリケーション ノートでは、BQ76952 や BQ79731 などのデバイスを例に挙げ、セルセンス入力における信頼性の高い断線検出について説明するほか、バッテリー端子や電流センスパスにおける断線検出の課題に対処するためのいくつかの方法を提案します。

2 CELL 断線検出フロー

セルの断線検出は、バッテリー監視アナログ フロント エンド (AFE) にとって、重要な診断要件の 1 つです。BQ76952、BQ79718、BQ78706 など TI の大半のバッテリー モニタ AFE は、この機能を統合しています。セル センスワイヤが断線した場合、セル入力に接続されている外部フィルタ コンデンサが以前の電圧を長時間保持できます。静止電流を最小限に抑えるために、AFE セルの入力ピンは通常ハイ インピーダンス状態に保持されるため、この残留電圧がセンシングノードに残る可能性があり、AFE が誤ったセル電圧測定値を通知する可能性があります。

代表的な AFE 断線検出方式では、VSS を基準として、VC₁ から VC_n セル入力ピンで、内部電流源がイネーブルになります。電流源が有効化されており、セル電圧センシングパスに断線状態が存在する場合、影響を受けるセンシングノードの残留電圧が放電されます。その後、デバイスは、結果として得られるセル電圧の動作に基づいて、断線フォルトが発生したかどうかを判定できます。以下のセクションでは、BQ76952 を例として使用し、詳細な断線検出シーケンスについて説明します。

2.1 VC₁ - VC_{n-1} 断線検出

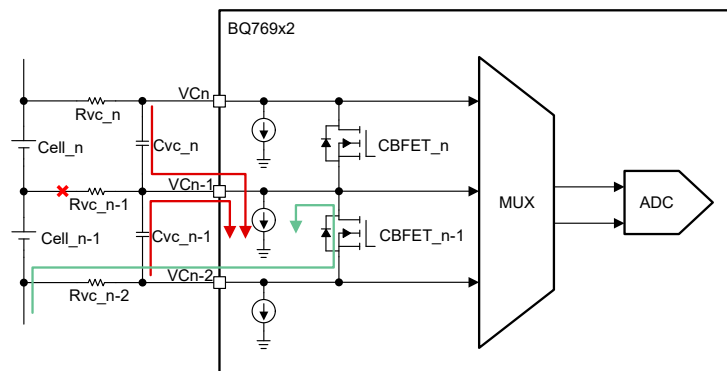


図 2-1. VC₁ - VC₁₅ 断線検出時の放電パス

図 2-1 に示すように、断線状態がない場合、セル電圧の検出は影響を受けません。断線状態のためにセル入力ピンがフローティング状態になっている場合、この電流源によって静電容量が放電され、ピンの電圧はゆっくりと低下します。コンデンサの電圧が低下すると、デバイスの入力での断線状態のセルの電圧が低下し、最終的にセル低電圧保護フォルト (CUV) がトリガされます。

断線状態のセル入力のコンデンサの電圧降下が生じると、そのセルの電荷が放電されるにつれて、隣接する上側のセルの電圧も比例して上昇し、最終的にセル過電圧保護フォルト (COV) が発生します。

OW 状態によって電圧が変化すると、デバイスによる永続的な障害 (PF) 保護がトリガされることがあります。OW 入力ピンのセル電圧が連続的に低い電圧まで低下して安全低電圧 PF、またはその上にあるセルの安全過電圧 PF がトリガされます。

OW ソースが OW セルを完全に放電し尽くすと、隣接する上部のセル入力を入力ピンに対して元のセル電圧の 2 倍の電圧を測定するようになります。断線状態が検出され、目的の応答が開始されるように適切なスレッシュホールド設定を行い、低電圧および過電圧保護および PF をイネーブルにすることが重要です。

注

BQ769x2 には、断線状態が発生したことを示す専用 OW ビットはありません。ただし、COV/CUV 保護とセル電圧に基づいて、この状態を推測することは可能です。

2.2 VC_n 断線検出

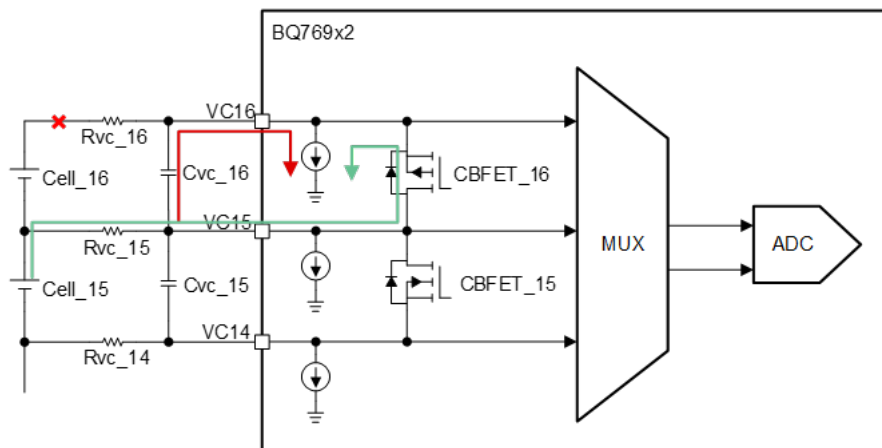


図 2-2. VC_{16} 断線検出時の放電パス

断線状態のため $CELL_{16}$ 入力ピンがフローティング状態になると、内部電流源はスルーレートで $C_{VC_{16}}$ を放電します。 $C_{VC_{16}}$ の電圧は、内蔵セル バランス用 FET のボディ ダイオードが順方向バイアスに達するまで低下し続けます。最終的に、 VC_{16} と VC_{15} の電圧差は $0V$ に近くなります。BQ デバイスは $CELL_{16}$ の CUV イベントを報告できます。この条件では、VSTACK は 15 セルの電圧の合計と等しくなり、VBAT は 16 セルの電圧すべての合計と等しくなります。

2.3 VC_0 断線検出

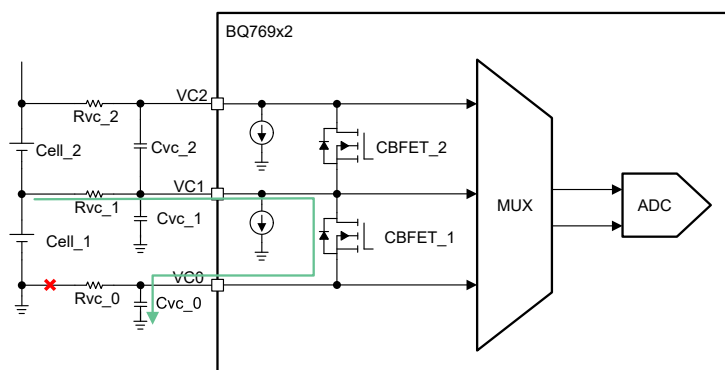


図 2-3. VC_0 断線検出時の放電パス

断線状態のために $CELL_1$ 入力ピンがフローティング状態になると、 VC_1 と VC_0 には独立した同相コンデンサがあるため、 VC_1 は $CELL_1$ の電圧とほぼ等しくなります。 C_{VC_0} の電圧は、CBFET₁ のボディ ダイオードを流れるリーク電流によって、 $CELL_1$ の電圧近くにプルアップされます。最終的に、 VC_1 と VC_0 の間の電圧は $0V$ に近くなり、 VC_2 と VC_1 の間の電圧は $CELL_2$ の電圧と等しい状態が維持されます。この条件で、BQ デバイスは $CELL_1$ の CUV イベントを通知できます。

真の CUV イベントと断線イベントを区別するため、VBAT の測定値を、個々のセル電圧測定値の合計である VC_{sum} と比較します。

3 シャント断線検出

シャント電流センスパスで断線状態が発生した場合、AFE は実際の負荷電流を判断できなくなります。この状態では、重大な過電流または過負荷イベントが発生する可能性があります。このセクションでは、この故障を検出するための 2 つの方法として、シャント電流センスの断線診断回路と冗長電流測定について説明します。

3.1 シャントの断線検出ソリューション

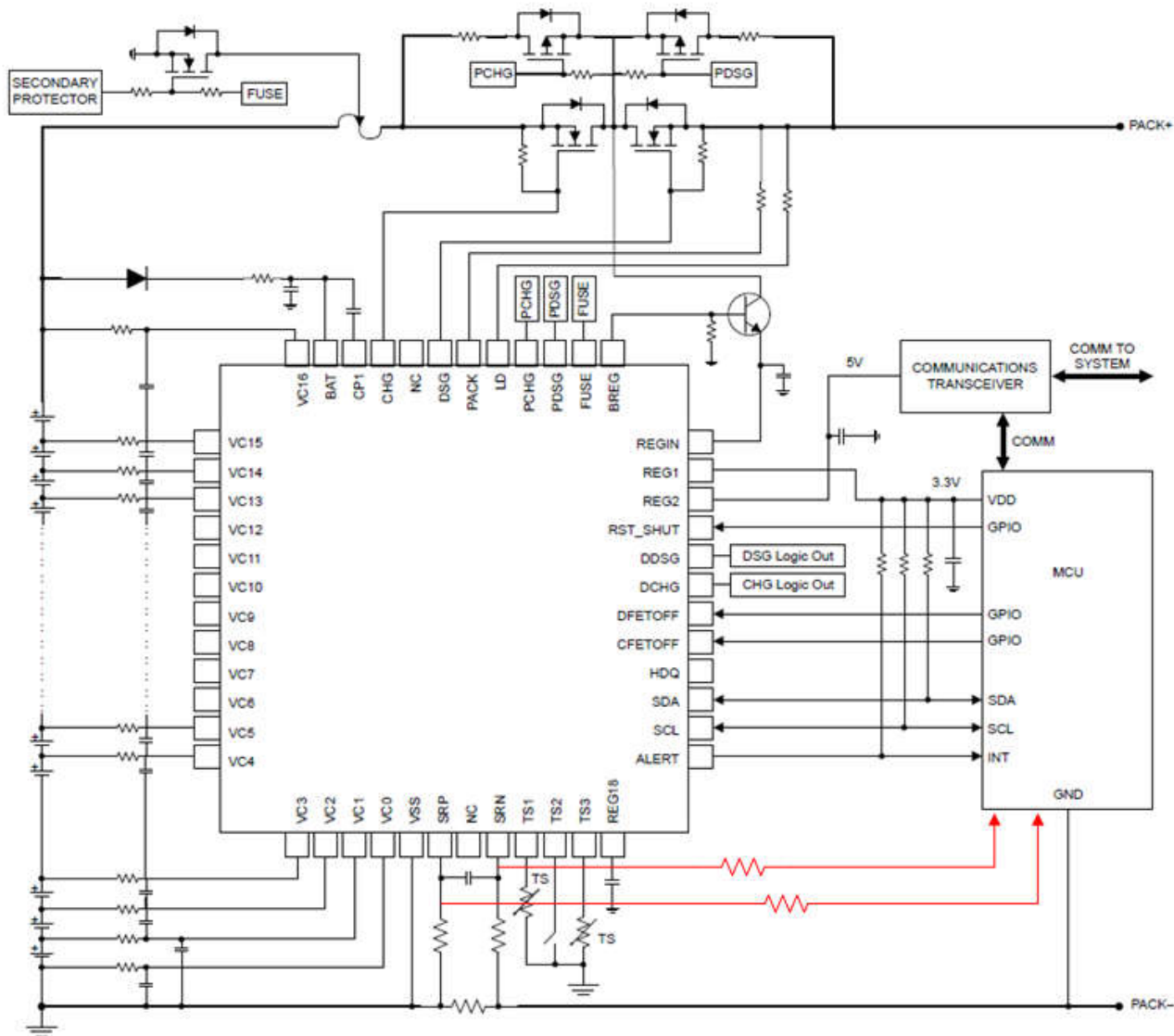


図 3-1. シャントの断線検出ソリューション

図 3-1 に示すように、この記事では、直列フィルタ抵抗とマイコンの GPIO ピンの間に抵抗デバイダを追加することで、低コストの診断回路を提案します。通常動作中、マイコンピンはハイインピーダンス状態 (Hi-Z) のままになるため、回路によって追加の静的消費電力が発生することはありません。

診断動作中、マイコンは GPIO ピンを High に駆動します。これにより、SRN/SRP ピンが AFE の内部 ADC 用に明確に測定可能な信号を生成するのに十分な高さのレベルまでプルされます。AFE 電流測定値を読み取ることで、マイコンは SRP ピンと SRN ピンが互いに短絡しているか、VSS に短絡しているかを判別できます。フィルタ抵抗と電流検出ワイヤが断線していなければ、AFE により報告される電流値は、抵抗デバイダネットワークで計算される期待値と一致している必要があります。フィルタ抵抗または電流センスワイヤが断線した場合、電流センス入力に印加される電圧は、主にマイコンプルアップ電圧によって決定されるため、SCD 保護を直接トリガさせる可能性があります。

注

この回路を設計する際は、AFE 電流センス入力ピン (SRP と SRN) に印加される電圧が、これらのピンの絶対最大定格を超えないようにしてください。そうしないと、マイコン プルアップ電圧によって AFE が損傷する可能性があります。

3.2 冗長 ADC を使用した電流センス診断

電流検出診断における、よりコストのかかる別のアプローチとして、独立した測定パスに専用の ADC チャンネルを追加する方法があります。この冗長測定パスは、電流センスパスの断線状態や 1 次側 ADC 測定 of 異常を検出するのに役立ちます。たとえば、INA194 や AMC1350 などの双方向電流センス デバイスを使用して冗長電流測定を実装できます。ただし、このアプローチを採用するとシステム全体のコストが増加し、静止電流消費が増加します。

エネルギー ストレージシステム (ESS) アプリケーションで、TI の BQ79731 UMI センサは 2 個の独立した電流センス ADC を統合しています。冗長 ADC を独立した RC 入力パスとともに使用して、断線検出を実装できます。このアプローチは、システム設計を簡素化し、電力密度の向上に役立ちます。

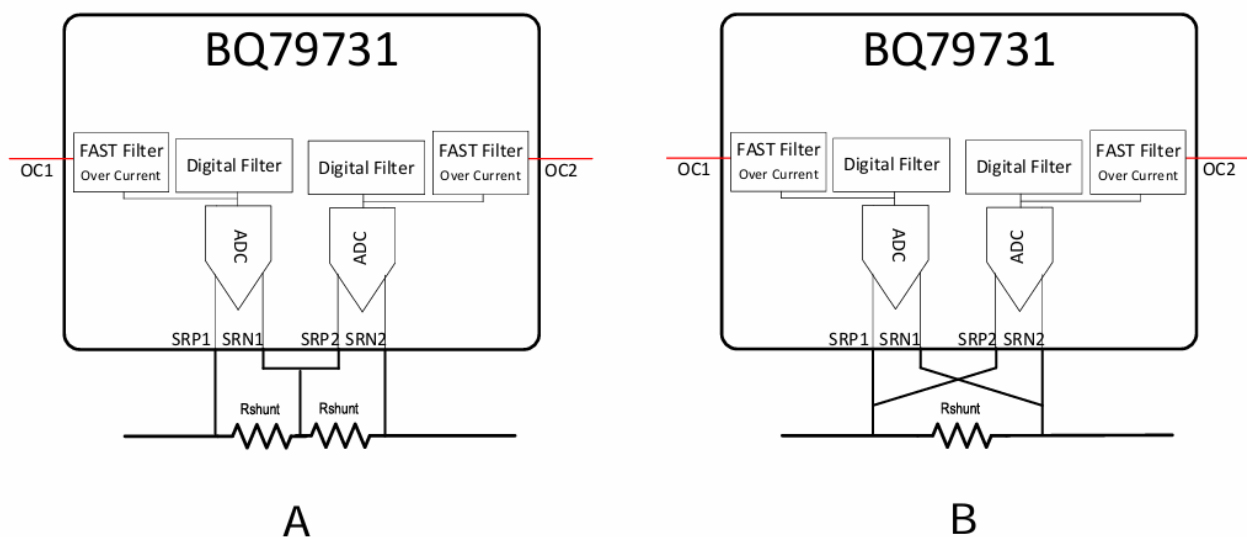


図 3-2. BQ79731 を使用した冗長電流センス診断

4 その他の診断:VBAT、VSS

4.1 VBAT 断線検出

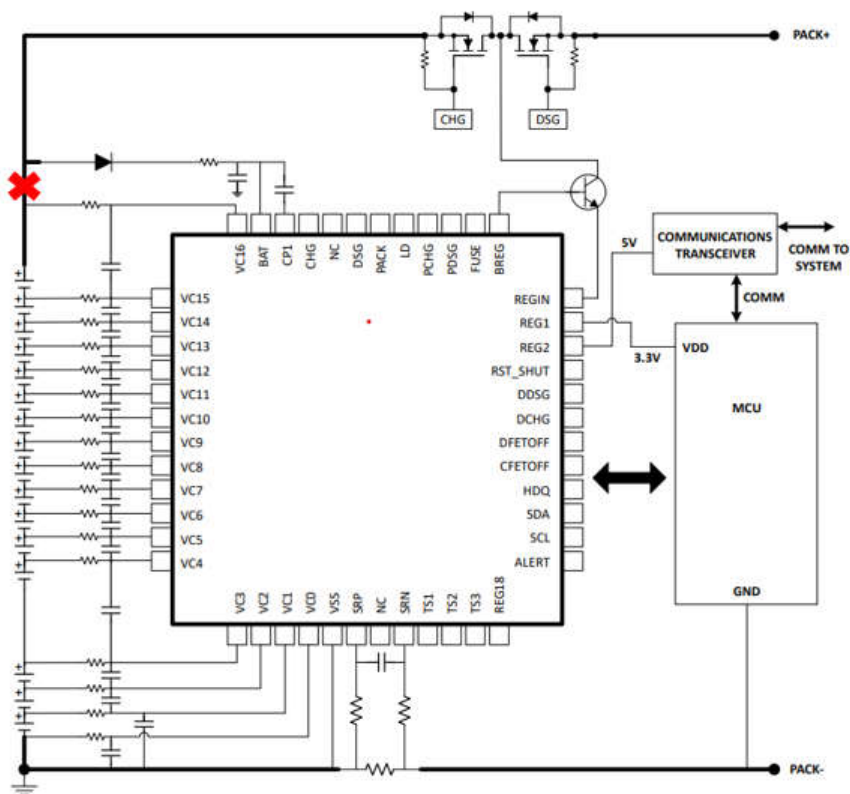


図 4-1. VBAT 断線検出

BMS の設計においては、 VC_n センシング ケーブルと電源ケーブルとは通常、別々に配線することを推奨します。AFE には、PCB トレース経由の電源ケーブルから電力を供給されます。 VC_n 電圧と VBAT 読み取り値の差を使用して、断線状態が発生したかどうかを判定できます。BQ76952 では、VBAT 低電圧状態になった場合、デバイスを強制的にシャットダウン モードに移行させて、システムを保護できます。

4.2 VSS 断線検出

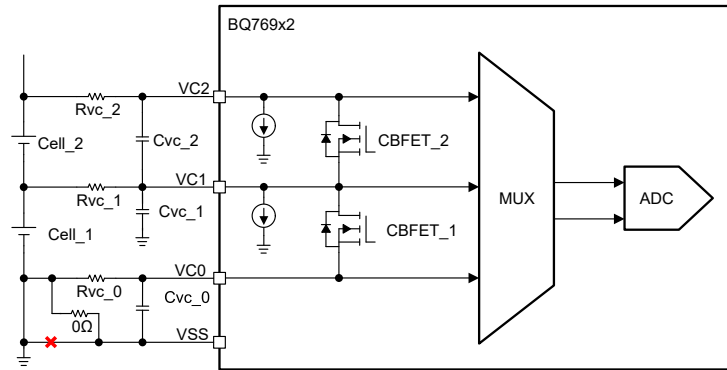


図 4-2. VSS 断線検出

VSS 断線状態は、分圧抵抗ネットワークを介して REG18 や REG1 などのピン電圧を測定するマイコンによって検出できます。VSS が断線しているとき、IC の内部 VSS はダイオードの電圧降下電圧で基板の GND よりも高くなります。AFE は内部 VSS に対して REG18 および REG1 を生成するため、REG18 および REG1 は基板の GND を基準とした通常の値よりも高くなります。したがって、マイコンはこの障害を測定できます。

5 まとめ

このアプリケーション ノートでは、BMS の断線検出方法をまとめます。BMS 設計者が一般的な断線故障メカニズムを理解するのに役立ち、EV、データセンター、ESS の各アプリケーションでシステムの信頼性、保護精度、機能安全の堅牢性を向上させるための実用的な回路設計や診断設計に関するガイダンスを提示します。

6 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、『BQ76952 3 直列 ~ 16 直列リチウムイオン、リチウムポリマ、LiFePO4 バッテリー パック用高精度バッテリー モニタおよびプロテクタ』、データシート。
2. テキサス インスツルメンツ、『BQ76952 テクニカル リファレンス マニュアル』、テクニカル リファレンス マニュアル。
3. 『BQ769x2 バッテリー モニタ ファミリーにおけるローサイド FET の使用』、アプリケーション ノート。
4. テキサス インスツルメンツ、『BQ769x2 バッテリー モニタ用マイコンのサンプル コード』、サンプルコード。
5. テキサス インスツルメンツ、『FAQ] BQ76952: TI の BQ769x2 バッテリー モニタ ファミリーに関するよくある質問 (FAQ)』。

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、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](#) 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