

容量性絶縁による ACモーター・ドライブの 重要課題の解決法



Nagarajan Sridhar
Power Solutions

Sean Alvarado
Power Solutions

Lucas Schulte
Interface Products

Anthony Viviano
Interface Products

Krunal Maniar
Data Converters

信号と電力の絶縁は、ACモーター・ドライブ・システム動作の信頼性確保と、作業者の高電圧からの保護に有効です。

ただし、特にデバイス寿命や熱特性については、すべての絶縁技術が同等なわけではありません。

このホワイト・ペーパーでは、電力段ゲート・ドライバの絶縁、電圧/電流帰還の絶縁、制御モジュールのデジタル入力の絶縁など、AC(交流)モーターの設計課題を解決する場合について、TIの容量性ベースの絶縁技術と従来の絶縁技術との比較を行います。

ACモーター・ドライブ・システムとは？

ACモーター・ドライブとは、**図1**に示すように、誘導モーターへAC入力を使用して、商業ビルの暖房、換気、空調や、ポンプ、コンプレッサといった、大型の産業用負荷を駆動するシステムです。ACモーターは、コンベヤ・ベルトまたはトンネル掘削、採鉱、製紙工場の機器など、速度調整対応が必要なファクトリ・オートメーションや工業用機器の負荷も駆動します。



図1. 工場のACモーター・ドライブ付き誘電モーター

ACモーター・ドライブは、ACをエネルギー源として、DCバス電圧へと整流します。負荷要求に基づいた複雑な制御アルゴリズムを適用した後でDCを再度ACに変換し、モーターに供給します。

図2はACモーター・ドライブのブロック図です。電力段と電源は緑色です。

ACモーター・ドライブの絶縁

ACモーター・ドライブなどの電気モーター・ドライブ・システムでは高電圧と大電力が使用されます。したがって、システム全体で作業者と重要部品の両方を保護する措置が不可欠です。

また、コントローラや通信ペリフェラルなどの重要なシステム部品も、モーター・ドライブ内の大電力/高電圧回路から保護する必要があります。回路間の絶縁は、IEC(国際電気標準会議) 61800-5-1安全規格で定義されるように、半導体ICを使用した部品レベルの絶縁により実現できます。

絶縁型ICは、危険なDCや制御されない過渡電流を防止しながら、高電圧ユニットと低電圧ユニット間でデータと電力を伝達できます。アイソレータは通常、作業者が接触する可能性のある部品から高電圧を分離する絶縁バリアによって、回路内で要求されるこの絶縁レベルを実現します。

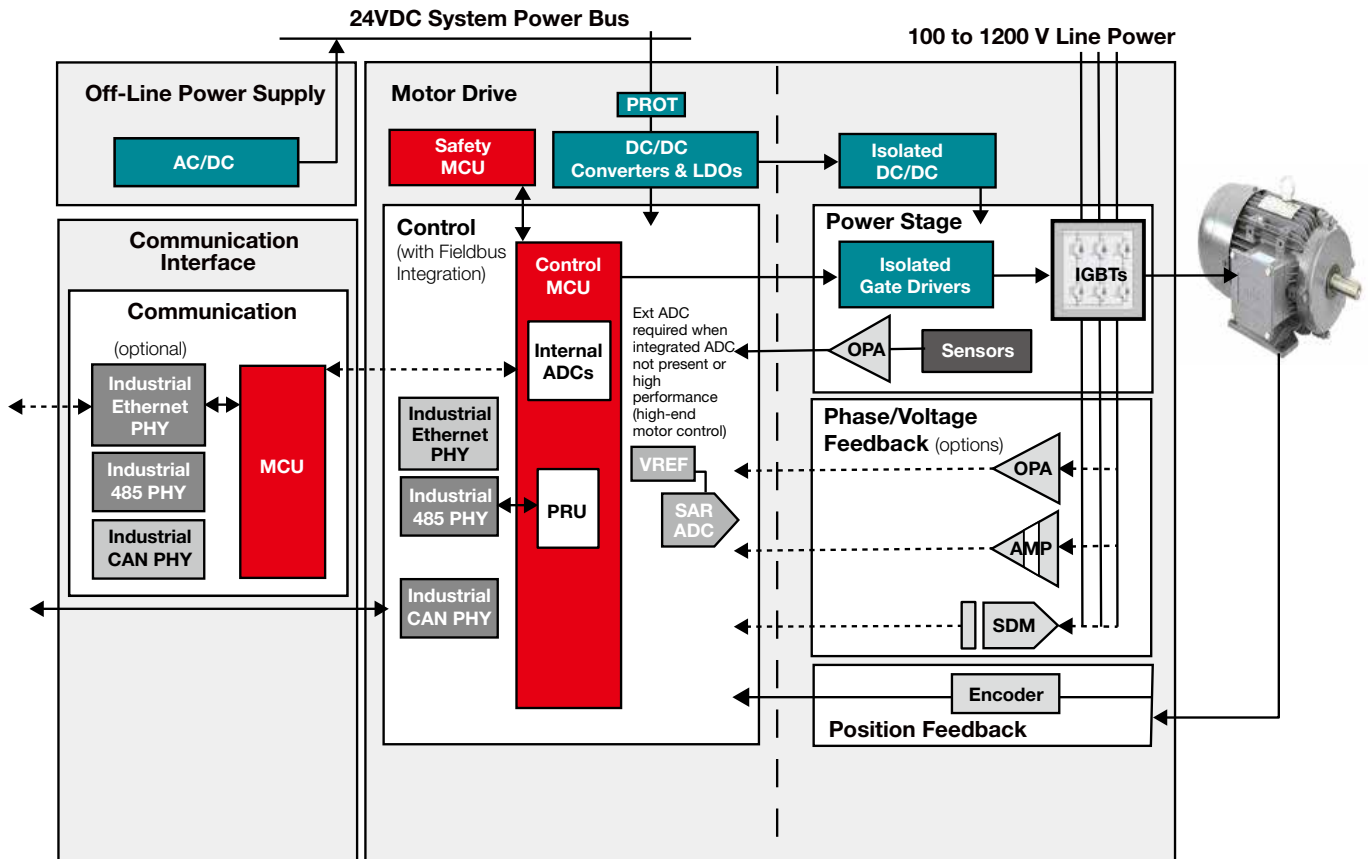


図 2. AC モーター・ドライブのブロック図

IEC 61800-5-1安全規格の詳細については、ホワイト・ペーパー「[Isolation in AC Motor Drives: Understanding the IEC 61800-5-1 Safety Standard \(ACモーター・ドライブの絶縁: IEC 61800-5-1安全規格の理解\)](#)」を参照してください。

ACモーター・ドライブでの絶縁の実現

モーター・ドライブの絶縁バリアの実装には選択肢が複数ありますが、過去40年間にわたってシステムのガルバニック絶縁の実現に使用されてきた最も一般的なデバイスはフォトカプラです(光アイソレータ、オプトカプラとも呼ばれます)。フォトカプラは、コスト効率に優れ、さまざまな場所で使用されていますが、新しい絶縁方式と同レベルの温度特性やデバイス寿命は得られません。

TIの容量性絶縁技術では、二酸化ケイ素(オンチップの基

本絶縁)を誘電体として使用する容量性回路に、信号強化絶縁を組み入れます。フォトカプラとは異なり、絶縁回路を他の回路と同一チップ上に組み込むことが可能です。このプロセスで製造されるアイソレータは、2レベルの基本絶縁に相当する信頼性、衝撃保護、強化絶縁を1つのパッケージで提供します。

TIの革新的な容量性ベースの強化絶縁について詳しくは、ホワイト・ペーパー「[Enabling high voltage signal isolation quality and reliability \(高電圧信号絶縁の品質と信頼性の実現\)](#)」をご覧ください。

以下のセクションでは、ACモーター・ドライブ設計の絶縁に関連した主要な3つの設計課題を、フォトカプラと比較した容量性絶縁の利点に注目しながら紹介します。

電力段のゲート・ドライバの絶縁

ACモーター・ドライブの電力段で使用される電力コンバータのトポロジは、キロワットからメガワット単位の電力を伝達する3相インバータ・トポロジです。このようなインバータはDC電源をAC電源に変換します。DCバスの電圧レベルは通常600V～1200Vです。3相インバータは電力スイッチをオン/オフするために、6個の絶縁ゲート・ドライバを使用します（一般的にはIGBT（絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ）バンクまたはIGBTモジュール）。優れた性能により、炭化ケイ素（SiC）を使用したMOSFETやモジュールなど、ワイド・バンドギャップ・デバイスの採用が始まっています。

各相ではハイサイド/ローサイドにIGBTスイッチを用います。通常20～30kHzで動作し、交流モードのモーター・コイルに正負の高電圧DCパルスを印加します。IGBTまたはSiCの各モジュールは、1個の絶縁ゲート・ドライバで駆動されます。ゲート・ドライバの高電圧出力とコントローラからの低電圧制御入力の間はガバナニク絶縁されています。

ゲート・ドライバは、コントローラからのパルス幅変調（PWM）信号をFETまたはIGBTへのゲート・パルスに変換します。また、これらのゲート・ドライバには、不飽和化、アクティブ・ミラー・クランプ、ソフト電源オフなどの保護機能が内蔵されていなければなりません。

絶縁ゲート・ドライバには、入力段である1次側と、FETに接続する2次側があります。1次側では、電圧ベース、電流ベースの2種類の入力段が利用できます。ゲート・ドライバは、指定のタイミングで電源をオン/オフするようゲート・ドライバに指示するコントローラと、入力段経由で接続されます。

モーター・ドライブ・アプリケーションのIGBTは通常、電流ベースの入力段を用いるフォトカプラ・ゲート・ドライバによって駆動されます。電流ベースの入力段は、ノイズ耐性が高い傾向があり、従ってコントローラとフォトカプラの間にバッファ段が必要です。また、バッファ段を用いる電流ベースの入力段では通常、消費電力が増加します。

従来のフォトカプラのゲート・ドライバには、いくつかの課題があります。

- 入力段のLEDは時間とともに劣化します。その結果、デバイス寿命に影響を与え、伝搬遅延が増加する可能性があり、システム性能を損ないます。
- 同相過渡耐性（CMTI）が低い場合、パワーFETのスイッチング速度が制限されます。
- 通常、低い動作温度範囲にしか対応しないため、デザインを小型化することが困難です。

TIでは、フォトカプラの一般的な設計課題を克服するため、容量性絶縁技術を用いた絶縁ゲート・ドライバを提供しています。

図3に、従来のフォトカプラ・ゲート・ドライバと容量性絶縁を使用したTIの絶縁ゲート・ドライバの比較を示します。TIの容量性絶縁ゲート・ドライバは、高いCMTI定格、広い動作温度範囲で、部品間スキューや伝搬遅延などのタイミング仕様が改善されています。TIのゲート・ドライバのCMTI性能については、アプリケーション・ノート [「Common Mode Transient Immunity for Isolated Gate Drivers（絶縁ゲート・ドライバの同相過渡耐性）」](#) をご覧ください。

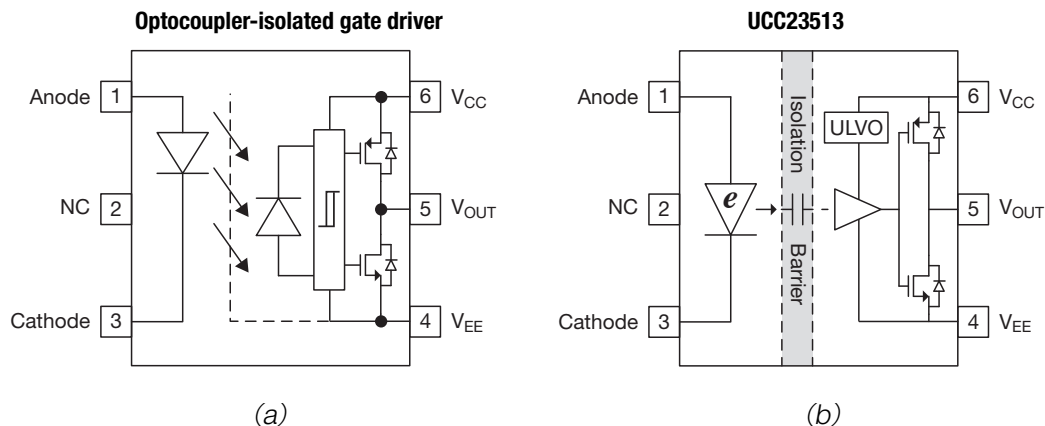


図3. フォトカプラ絶縁型ゲート・ドライブ (a) と容量性絶縁型ゲート・ドライブ (b) の比較

電流/電圧帰還の絶縁

ACモーター・ドライブでは、電圧/電流帰還測定による閉ループ制御システムを利用して、ACモーターの速度とトルクを制御します。電圧/電流帰還は高電圧側で測定されるため、信号を低電圧側のコントローラから絶縁する必要があります。

モーターの3相それぞれで測定したインライン相電流を使用して、IGBTを制御する最適なPWMパターンを生成します。このインライン相電流測定の精度、ノイズ、帯域幅、レイテンシ、CMTIは、モーターのトルク/速度出力プロファイルに直接影響します。

容量性結合された絶縁アンプと変調器は、図4に示すように、フォトカプラを用いたものよりも伝搬遅延が少なく、CMTI、

バッテリー寿命、過熱に対する信頼性が優れています。

アプリケーション・ノート「[Comparing shunt- and Hall-based isolated current-sensing solutions in HEV/EV \(HEV/EVにおけるシャント・ベース/ホール・ベースの絶縁電流センシング・ソリューションの比較\)](#)」では、絶縁定格、精度、温度範囲、帯域幅、ノイズの点で、シャント・ベースとホール・ベースの電流センシング手法を詳細に比較しています。

図5は、シャント・ベースの電流センシングと分圧抵抗ベースの電圧センシングに絶縁アンプを用いた、帰還センシング・ループの標準的なブロック図です。相電流は、シャント抵抗RSHUNTを通じて測定されます。

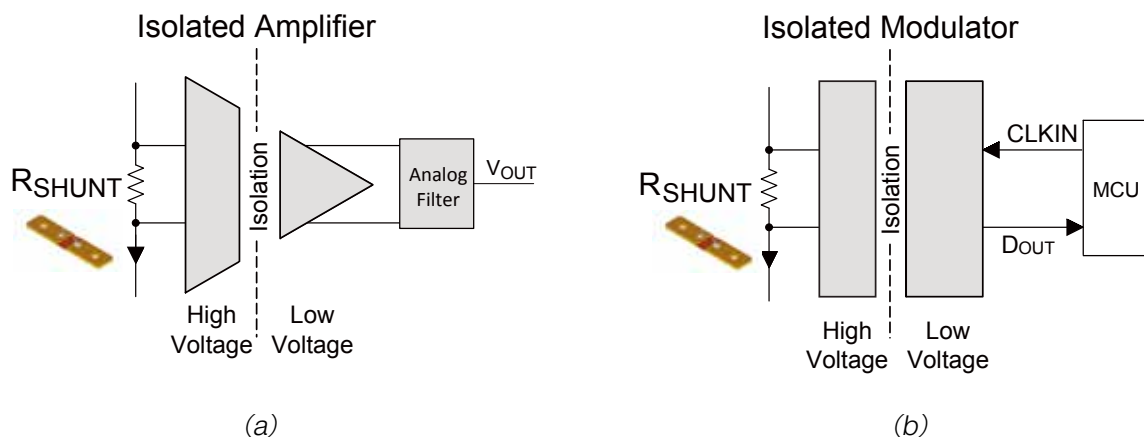


図4. フ絶縁アンプ (a) と絶縁変調器 (b) の例

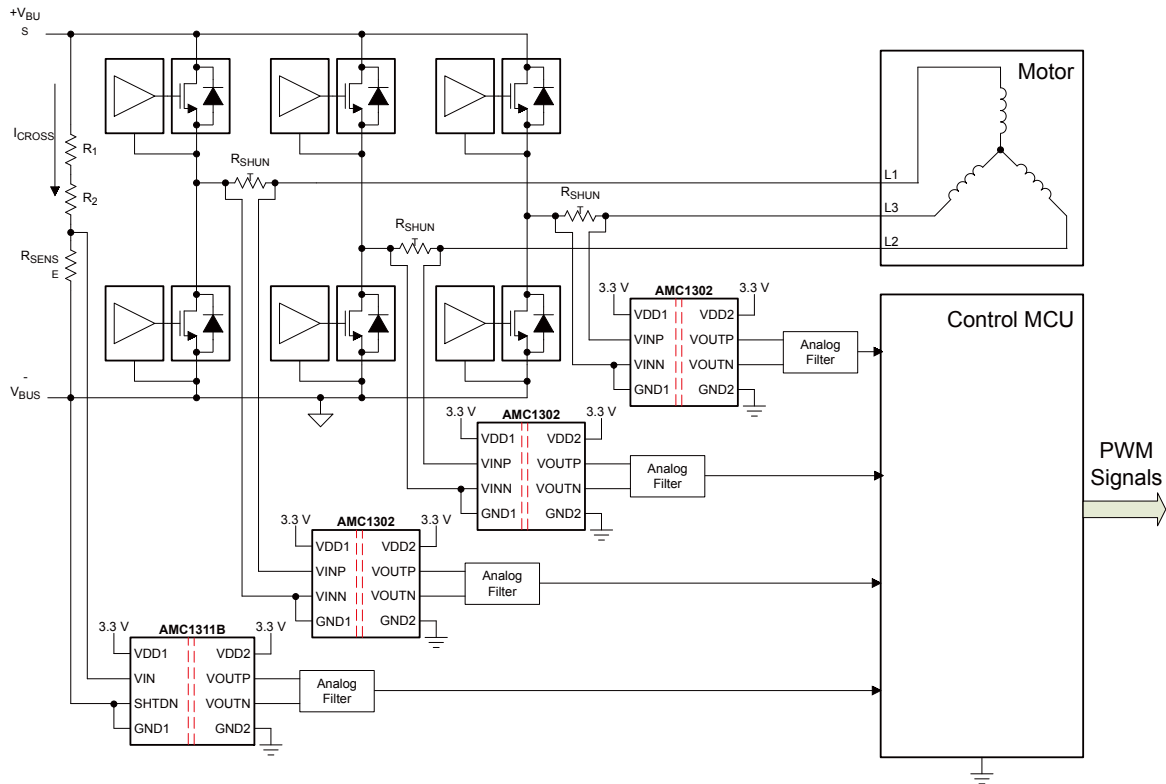


図 5. 標準的な電流 / 電圧帰還の実装

フォトカプラと比べて、TIの絶縁アンプは、高いCMTIと総合精度で、双方向の微小入力電圧範囲に対応しています。この特長により、ノイズの大きなモーター・ドライブ環境で信頼性のある電流センシングが可能です。これらのデバイスは高インピーダンス入力で入力電圧範囲が広く、DCリンク・バスの電圧センシングに適しています。

制御モジュールのデジタル入力の絶縁

ACモーター・ドライブ内の制御モジュールは、位置帰還モジュール、アナログ入力、デジタル入力からの入力に基づき、モーター・ドライブ・システムの信号処理と制御アルゴリズム全体を担当します。これらのデジタル入力は通常、フィールド・センサやスイッチからの24V信号であり、セーフ・トルク・オ

フ(STO)などの緊急停止信号、または速度や位置など、モーターの動作についての情報を伝達します。

これらのデジタル信号入力は、制御アルゴリズムと一緒に用いられ、目標出力を得るために必要な調整を電力段に対して行います。デジタル入力を制御モジュールから絶縁することで、グラウンド電位差による通信エラーの発生を防止します。

フォトカプラはデジタル入力の絶縁に使用されてきましたが、デジタル・アイソレータ技術の最近の進歩は、システム設計者のデジタル入力設計方法を激変させました。

図6は、絶縁デジタル入力用の一般的なフォトカプラ・ソリューションです。9個から15個のディスクリート部品を使用して、電流制限と電圧スレッシュホールド制御を実現しています。

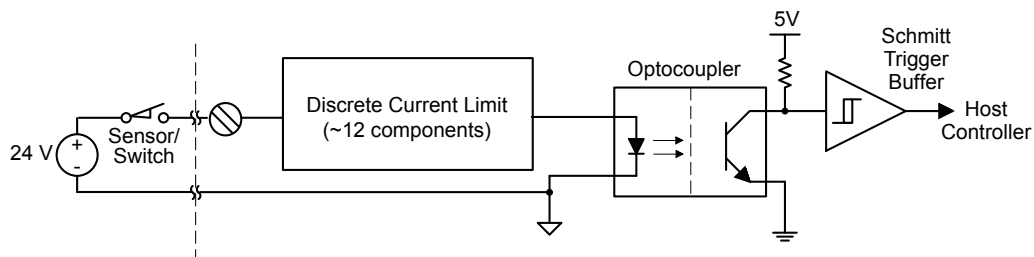


図 6. 標準的なフォトカプラ絶縁型デジタル入力ソリューション

この複雑なソリューションを使用した場合、電流制限は目標電流制限値2mAよりはるかに大きくなり、設計次第では温度範囲全体で6mAまで及びます。また、フォトカプラ後段のシュミット・トリガ・バッファは、ノイズ耐性のためのヒステリシスを与えます。図7は、デジタル入力アプリケーション用の専用デジタル・アイソレータの簡易ソリューションです。TIの容量性絶縁技術を使ったデバイスでは、2.5mA未満の電流制限を実現できます。このソリューションでは、ノイズ耐性用のシュミット・トリガは不要で、選択された電流制限と電圧スレッシュホールドの設定用に2個の抵抗 (RSENSEとRTHR) だけが必要です。

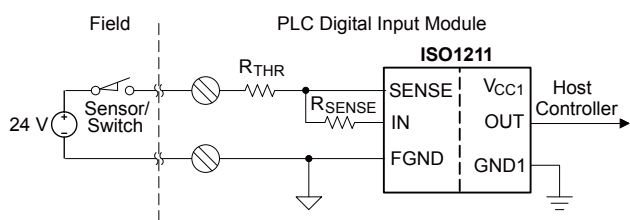


図7. TIのデジタル・アイソレータを使用した絶縁デジタル入力ソリューション

容量性ベース方式のデジタル絶縁は、フォトカプラと比べて消費電力が大幅に減少する利点があります。TIのデジタル・アイソレータによる高精度電流制限により、デジタル入力から引き込む電流を1/5に削減可能で、消費電力と基板温度は

大幅に低下します。他の特長としては、基板スペース削減に有効なチャンネル間絶縁された2チャンネル・オプション、STO入力に対応する低伝搬遅延、4Mbpsのデータ・レートなどがあります。フォトカプラを用いたSTO入力対応には、高速フォトカプラが必要ですが、これは高価で、容量性ベースのデジタル絶縁技術よりも短寿命です。TIのモーター・ドライブ・システム用絶縁デジタル入力の利点について詳しくは、アプリケーション・ノート「[How to Improve Speed and Reliability of Isolated Inputs in Motor Drives \(モーター・ドライブの絶縁入力の速度と信頼性の改善方法\)](#)」をご覧ください。

まとめ

電力段ゲート・ドライバの絶縁、電圧/電流帰還の絶縁、制御モジュールのデジタル入力の絶縁のいずれの場合でも、TIの容量性ベースの絶縁技術は、ACモーター・ドライブの寿命と温度に対する要求を劇的に変化させ、多くの場合、フォトカプラよりもソリューションを小型化します。

詳細情報

- [TIが提供する多様な絶縁ポートフォリオ](#)
- [TIが提供する容量性絶縁技術の特長と利点](#)
- [UCC23513、AMC1302、ISO1211の詳細](#)

S-0107

ご注意：

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいますようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 (www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termssofsale.html)、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。

Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社