

高信頼性と低コストを両立させる絶縁技術により高電圧設計の様々な課題を解決

**Krunal Maniar**

Product Marketing Engineer
Data Converters

Steven Mappus

Systems Application Engineer
High-Voltage Controllers

Tim Merkin

Senior Member Technical Staff
Kilby Labs

Alex Triano

Product Marketing and Applications Manager
Solid-State Relays

Luke Trowbridge

Product Marketing Engineer
Isolation

ファクトリオートメーション、モータードライブ、グリッドインフラ、電気自動車 (EV) で使われる高電圧は、数百ボルトまたは数千ボルトにも達することがあります。ガルバニック絶縁は、このような高電圧の存在下での安全なヒューマン インターフェイスの設計に関する課題の解決に役立ちます。

概要

本書では、ガルバニック絶縁の概要を紹介し、高電圧システムを設計する際の絶縁に関する一般的な検討事項と方法を説明します。また、ソリューションのサイズとコストを低減しながら絶縁の要求を確実に満たすうえで、テキサス・インスツルメンツ (TI) の絶縁 IC がどのように役立つかを考察します。



1

ガルバニック絶縁とは

ガルバニック絶縁は、システム内の 2 つ以上の部分の間に電流が流れないようにする電気的分離を実現します。信号と電力を絶縁することで、要員と機器を保護でき、各種業界規格や国際規格に準拠できます。



2

高電圧ガルバニック絶縁に関する注意事項と方法

電圧定格、間隔 (沿面距離と空間距離)、同相過渡耐性 (CMTI)、電磁干渉 (EMI) など、絶縁バリアを形成する際の主要な検討事項を確認します。また、安全で信頼性の高い絶縁バリアを提供する標準的な方法 (光学式、静電容量式、磁気式) について説明します。



3

ソリューションのサイズとコストを削減しながら絶縁の要求を確実に実現

TI による静電容量式および磁気式絶縁、パッケージ開発、プロセス技術の進歩は、電気自動車 (EV)、グリッドインフラ、ファクトリ・オートメーション、モータードライブなどの産業用および車載システムで、電力と高速信号を絶縁バリア越しに安全かつ確実に伝達することを可能にしました。

すべての高電圧電源システムの第 1 の優先事項は、保守要員や最終製品のユーザーを保護することです。ガルバニック絶縁は、高電圧を他の低電圧ヒューマン インターフェイス セクションから絶縁することで、この優先事項を満たすことができます。

第 2 の優先事項は、高電圧回路と低電圧回路 (電圧および電流検出、電源の制御、デジタル通信、信号処理など) の間で高信頼性かつ安全な動作を確立することです。信頼性の高い絶縁手法、材料、IC を採用することで、設計者はこの優先事項を満たすことができます。

ガルバニック絶縁とは

ガルバニック絶縁は、電気システムを分割することで 2 つの部分の間に DC や望ましくない有害な AC が流れるのを防止しながら、信号と電力を伝達できます。図 1 に、ガルバニック絶縁された 2 つの回路を示します。

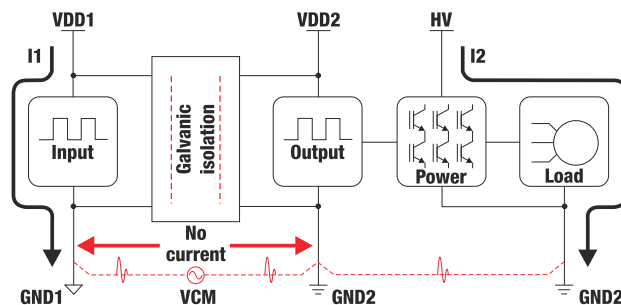


図 1. 低電圧側から高電圧側へのガルバニック信号絶縁

GND1 が GND2 と分離されているとき、I1 は I2 からガルバニック絶縁されています。GND1 と GND2 の間には共通するものがないので、絶縁バリアを通過する共通の DC GND 電流を共有することはありません。共有している複数の GND 接続を電氣的に絶縁し、直接的な導通のない信号通信も電気

的に絶縁することに加え、GND1 を基準とするさまざまな浮遊電位に GND2 を移行可能であるため、電圧レベルシフトにもガルバニック絶縁を使用できます。

高電圧システムは、追加の絶縁を必要とします。バリアをまたぐ形で、より多くの双方向信号情報が互いに行き来するからです。図 2 に、電力、高速ゲートドライバ信号、デジタル通信信号のすべてが絶縁バリアを通過する必要がある例を示します。多くのアナログおよびデジタル回路は、デジタル信号と電力の両方が絶縁バリア越しに通過できる特定のバイアス電圧要件があります。絶縁型の高分解能 A/D コンバータ (ADC) が、同じシステム内で 3.3V を必要とすることがあります。一方、絶縁型ゲートドライバは +15V と -5V を必要とすることがあります。このようなデバイスでは、信号だけでなく電力も絶縁バリア越しに伝達する必要があります。

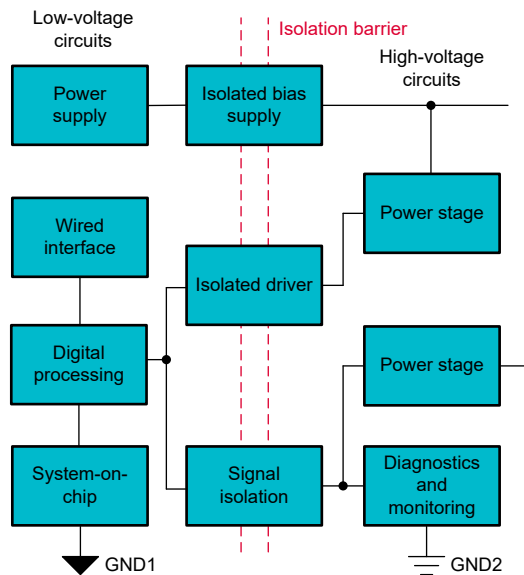


図 2. 絶縁バリア越しに伝わる信号のタイプ

ガルバニック絶縁の詳細については、『[ガルバニックアイソレーションとは何か?](#)』のビデオをご覧ください。

高電圧ガルバニック絶縁に関する注意事項

システム内に信頼性の高い絶縁バリアを形成する場合、絶縁定格、沿面距離と空間距離、CMTI、EMI など、考慮すべき多くの事項があります。

機能絶縁、基本絶縁、強化絶縁という用語は、表 1 に示すように、各電気システムに割り当てられたインシュレータ (絶縁材) の定格水準を表しています。

絶縁材の定格	説明
機能	機器の適切な動作を実現するのに必要な絶縁
基本	感電を防止する基本的な保護を実現するための絶縁
付加	基本絶縁が破壊された場合に感電を防止するため、基本絶縁に追加して適用される独立した絶縁
二重	基本絶縁と付加絶縁の両方によって構成される絶縁
強化	二重絶縁に相当する水準で感電からの保護を提供する単一の絶縁システム

表 1. 絶縁定格

機能絶縁は、システムが正しく機能するために割り当てる最小量の絶縁を意味し、必ずしも感電に対する保護を提供するとは限りません。機能絶縁の 1 つの例は、特定の電圧定格に対応する形で、プリント基板 (PCB) の導体間の間隔を適切に維持することです。

基本絶縁は、各システムの最大レベルの電圧に対処できる安全定格で、感電に対する「十分な」保護を実現します。

強化絶縁は、高電圧システムに適用される、最も高い商業定格です。強化絶縁要件を満たす 1 つの方法は、より高い電圧試験規格とより長い定格寿命に耐えられるように絶縁バリアの厚さを増やすことです。たとえば、IEC (国際電気標準会議) 60747-17 と IEC 60747-5 で、必須の部分放電試験電圧 (V_{PD}) は、強化絶縁の方が基本絶縁よりも高い強化絶縁の規格となっています。強化絶縁の詳細については、『[強化絶縁とは何か](#)』のビデオをご覧ください。

高電圧システムで強化絶縁の認証を取得するには、最初に、さまざまな委員会が定義した安全性と認証に関するテスト手順に準拠するアイソレータを選定します。UL (Underwriters Laboratories) は、グローバルな安全認証研究機関であり、米国を本拠としています。さまざまな国や地域がそれぞれ独自のシステム規格に準拠するよう調整を加えています。したがって、グローバルな使用を意図しているアイソレータは、さまざまな国際安全規格に適合していることが求められます。

表 2 に、デジタル (静電容量式、磁気式) アイソレータおよびフォトカプラに関する IEC 規格の要件を示します。

テスト	IEC 60747-17 静電容量式アイソレータと磁気式アイソレータ		IEC 60747-5-5 フォトカプラ
	基本絶縁型	強化絶縁型	強化絶縁型のみ
V_{IORM} - 反復可能な最大のピーク絶縁電圧 (maximum repetitive peak isolation voltage)	AC 電圧 (バイポーラ)	AC 電圧 (バイポーラ)	AC 電圧 (バイポーラ)
V_{IOWM} - 最大動作絶縁電圧 (maximum working isolation voltage)	TDDDB (time-dependent dielectric breakdown、経時絶縁破壊) に基づく AC 電圧	TDDDB に基づく AC 電圧	部分放電試験に基づく
V_{PD} - 部分的放電試験 (partial discharge test) の電圧	$V_{TEST} = 1.5 \times V_{IOWM}$	$V_{TEST} = 1.875 \times V_{IOWM}$	$V_{TEST} = 1.875 \times V_{IOWM}$
V_{IOSM} - 最大サージ絶縁電圧 (maximum surge isolation voltage)	$V_{TEST} = 1.3 \times V_{IMP}$	$V_{TEST} = 1.6 \times V_{IMP}$ (10kV _{PK} 最小値)	10kV _{PK} (最小値)
最小定格の寿命	20 年 × 1.2	20 年 × 1.5	未定義
寿命全体での故障率	1,000ppm	1ppm	未定義
許容可能な絶縁材質	二酸化ケイ素 (SiO ₂) と薄膜ポリマー	SiO ₂ と薄膜ポリマー	未定義

表 2. 静電容量式アイソレータ、磁気式アイソレータ、フォトカプラに関する IEC 規格

各アイソレータには、複数の重要なパラメータがあります。たとえば、沿面距離と空間距離は、絶縁バリアをまたぐ 2 つの導電性リード端子間の最短距離を意味します。図 3 に示すように、沿面距離は互いに隣接する複数の導体間の距離を IC のパッケージ表面に沿って測定した最短距離であるのに対し、空間距離は空中を経由する形で測定した値を意味します。

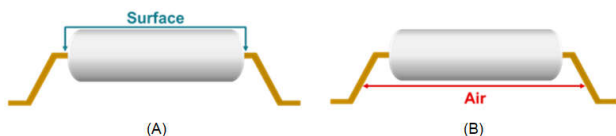


図 3. アイソレータのパッケージの沿面距離と空間距離 (出典: <https://www.ti.com/lit/an/slla469/slla469.pdf> の図 1 および 2)

パッケージテクノロジーはエンジニアにさまざまなオプションを提供することで、沿面距離と空間距離で大きな測定値を達成するうえで重要な役割を担います。高品位のモールド樹脂、幅の広いパッケージ、より定格の高い強化絶縁が、互いに補い合う形になる必要があります。より高い絶縁定格を達成するには、パッケージが絶縁破壊や空中放電を引き起こさないように、より幅広いパッケージとより良好なモールド樹脂が必要になるからです。

もう 1 つのパラメータは、同相過渡耐性 (CMTI) です。このパラメータは、高速過渡が存在する状況でアイソレータが高い信頼性で動作する能力を意味し、kV/μs、または V/ns の単位で測定します。ワイドバンドギャップ半導体の増加に伴い、過渡電圧 (dV/dt) のエッジレートが上昇する結果になり、アイソレータの回復力を定量化するうえで CMTI の測定値が重要になっています。高性能のアイソレータは CMTI 定格が 100V/ns に容易に達するほか、多くの製品は 200V/ns を上回る値でテスト済みです。dV/dt の大きい環境で CMTI の小さいアイソレータを動作させる場合、パルスのジッタ、歪み、誤動作、パルス情報の損失など、シグナルインテグリティの問題が発生する可能性が想定されます。

絶縁のトレードオフは、IC レベルとシステムレベルで互いに類似しています。IC パッケージのサイズ小型化、高集積化、熱管理、認証規格への準拠はいずれも、多くの場合に EMI の低減や高効率の達成というニーズに反する傾向があります。IC レベルでこれらのニーズすべてに適合する設計を採用した絶縁型部品を選定すると、システムレベルで強化絶縁に完全準拠するためのシームレスな移行を実現しやすくなります。

絶縁のトレードオフは、IC レベルとシステムレベルで互いに類似しています。IC パッケージのサイズ小型化、高集積化、熱管理、認証規格への準拠はいずれも、多くの場合に EMI の低減や高効率の達成というニーズに反する傾向があります。IC レベルでこれらのニーズすべてに適合する設計を採用した絶縁型部品を選定すると、システムレベルで強化絶縁に完全準拠するためのシームレスな移行を実現しやすくなります。

絶縁方法

IC は、最新の高電圧システムで絶縁を達成するための基礎的なビルディング・ブロック (構成要素) です。該当する IC は、DC 電流と低周波の AC 電流をブロックしながら、電力、アナログ信号、高速デジタル信号を絶縁バリア越しに伝達できるからです。図 4 に、3 種類の一般的な半導体テクノロジーを示します。光学的 (フォトカプラ)、電界を通じた信号伝達 (静電容量式)、および磁界を通じた結合 (トランス) です。TI の絶縁 IC では、先進の静電容量式絶縁技術と独自の内蔵平面型トランスを採用しています。TI は、パッケージ開発や、絶縁、プロセス技術に関する自社の立場を活かし、最高水準の統合、性能、信頼性を実現しています。

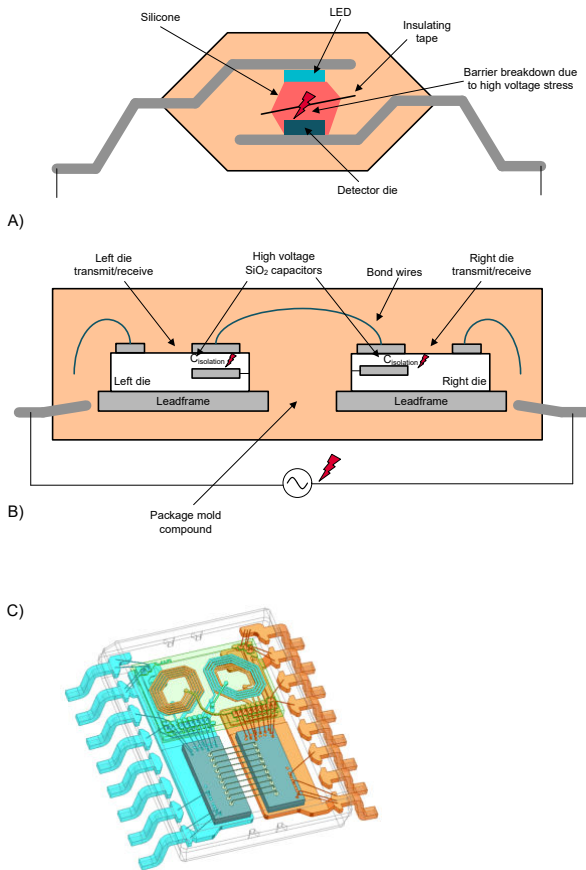


図 4. 半導体絶縁技術: フォトカプラ (a)、静電容量式 (b)、トランス式 (c) (出典: ti.com/lit/SLYY081 の画像 a および b)

絶縁特性の必須レベルを達成するうえで、各テクノロジーは表 3 に示した 1 つまたは複数の半導体絶縁素材に依存しています。物質の誘電体強度が高いほど、特定の距離を隔てて同程度の電圧を絶縁する効果が高くなります。

絶縁材の組成	誘電体強度
空気	約 $1V_{RMS}/\mu m$
エポキシ	約 $20V_{RMS}/\mu m$
シリカを充てんしたモールド樹脂	約 $100V_{RMS}/\mu m$
ポリイミド	約 $300V_{RMS}/\mu m$
SiO_2	約 $500V_{RMS}/\mu m$

表 3. 半導体のインシュレータ (絶縁材) の組成

光絶縁

フォトカプラは、アナログおよびデジタル信号の絶縁用途に使用される IC です。この種の製品の動作原理は、LED 光源が放射した光が、空気、エポキシ、モールド樹脂という誘電型の絶縁材を介してフォトランジスタに到達することです。表 3 を参照すると、これらの材質が最小クラスの誘電体強度なので、より高い水準の絶縁性を確保するには、他の物理的な仕切りも必要であることがわかります。テキサス・インスツルメンツのポートフォリオには、現在、光絶縁製品は含まれていませんが、テキサス・インスツルメンツの SiO_2 絶縁技術を使用した、オプトカプラの動作をエミュレートするピン互換ソリューションである **オプトカプラ エミュレータ** は含まれています。

光の放射に伴う光子は電磁エネルギーを伝達するための最も高速な媒体であることが知られていますが、LED のスイッチング速度、順方向バイアス要件、ドライブ回路が制限要因になり、その信号レートは数 Mbps 以下にとどまります。さらに、光伝送の効率では、電源としての効果的な利用に十分な電力を伝送できないため、通常、フォトカプラはデータ伝送用のみ使用されます。

LED 駆動回路やアンプなど、フォトカプラのパッケージ内部にある機能と組み合わせることにより、より高いデータレートを達成できますが、コストは上昇します。入力対出力の電流伝達率 (CTR) は、フォトカプラのゲインを表す測定値であり、時間の経過に伴って変化および低下します。設計者は時に、この経年劣化の効果を補償するために、必須のバイアス電流を意図的にオーバースペック (過剰要件) に設定することがあります。したがって、フォトカプラ全般は、静電容量式や磁気式のアイソレータより消費電力が大きい傾向があります。

容量式絶縁

静電容量式の絶縁テクノロジーは、オン/オフ・キーイング (OOK)、位相シフト・キーイング、エッジ・ベース伝達、その他の高次変調などの手法を使用し、誘電体をまたぐ形で AC 信号を伝達することを基礎としています。コンデンサ全般には、DC 信号をブロックするという固有の性質があるからです。図 5 に、直列容量式絶縁バリア越しの差動信号伝達を使った非常に基本的な変調器 / 復調器の組み合わせを示します。これらのコンデンサは、データと非常に限られた量の電力を送ることができます。図 5 に、絶縁バリアを形成するために使用される 2 つのコンデンサを示します。しかし、製品の要件と目的の絶縁定格によっては 1 つのコンデンサで十分な場合もあります。

直列静電容量式アイソレータは、トランスミッタ (左側のダイ) とレシーバ (右側のダイ) で構成されたマルチチップ・モジュールです。図 6 に示すように、各ダイは専用のコンデンサを使用して高電圧絶縁や感電からの保護を達成すると同時に、基本絶縁を 2 つのレベル (入力側と出力側の両方) で実装するのに等しい強化絶縁を実現します。

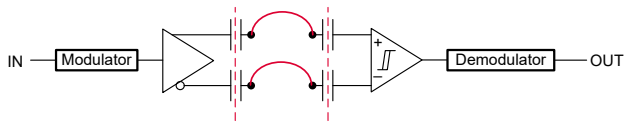


図 5. 静電容量として形成された絶縁バリア越しに情報を伝達するために変調を使用

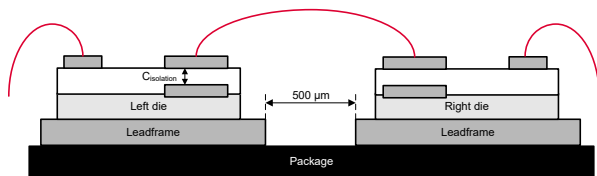


図 6. 静電容量式アイソレータの例

複数の静電容量式チャンネルを単一の IC パッケージ内に封止することが可能であり、左側と右側のどちらかをトランスミッタまたはレシーバにすることができます。したがって、双方向の信号通信を実現できます。静電容量式アイソレータは伝搬遅延が小さいので、150Mbps 以上でデータを伝達できるほか、フォトプラに比べるとバイアス電流も小さくて済みます。ただし、絶縁境界を挟んで左右それぞれの側で個別のバイアス電源電圧を用意する必要があります。

TI の静電容量式アイソレータは SiO_2 (二酸化ケイ素) 誘電体を使用しています (図 7 を参照)。この材質は、表 3 に掲載した材質一覧の中で、最大の誘電体強度を持ちます。 SiO_2 は、他のインシュレータに比べて最大の誘電体強度を持つと同時に、無機物の材質でもあるので、湿度や温度に対しても非常に高い安定性を示します。多層コンデンサと多層受動部品に関する TI 独自の的方法論は、高電圧特性の単一の層への依存性を低減することで、アイソレータの品質と信頼性の改善に貢献します。このテクノロジーは、最大 2kV_{RMS} の動作電圧 (V_{IOWM}) に対応するとともに、 $7.5\text{kV}_{\text{RMS}}$ の絶縁電圧 (V_{ISO}) と $12.8\text{kV}_{\text{PK}}$ のサージ電圧に耐えることができます。

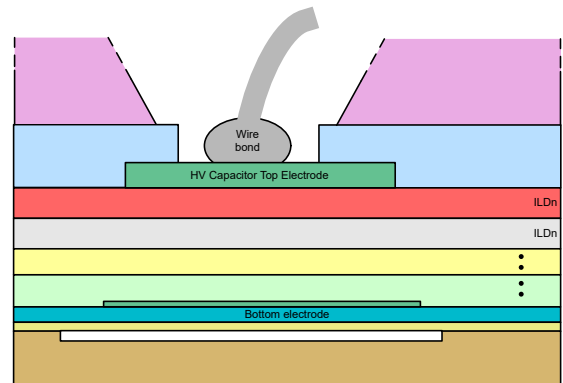


図 7. TI の高電圧絶縁 SiO_2 コンデンサの断面図の例

アイソレータは、回路を故障から保護するため、非絶縁型部品の寿命よりもはるかに長い寿命を持っている必要があります。TI は、表 2 に示す IEC 規格に基づいて厳格にテストを実施しています。

磁気式絶縁

静電容量式アイソレータは低電圧アナログ信号伝達、デジタル信号伝送、限定された電力伝送アプリケーション ($100\mu\text{W}$ 未満) で広く使用されていますが、高周波 DC/DC 電力変換を必要とするアプリケーションでは統合型 IC 磁気式絶縁が有利です。IC トランス結合絶縁の 1 つの利点は、数百 mW を上回る電力を伝送できることであり、これによりほとんどのアプリケーションで 2 次側のバイアス電源が不要になります。磁気式絶縁を使って高周波信号を送ることも可能です。電力とデータの両方を送る必要があるシステムでは、同じトランスのコイルを電力と信号のために使用できます (図 8 を参照)。

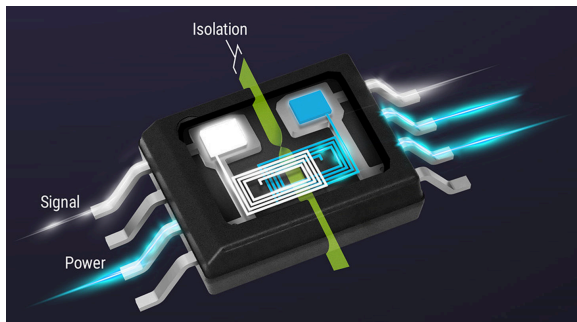


図8. 磁気式絶縁を使って絶縁バリア越しに電力と信号の両方を確実に伝送

TI は独自のマルチチップ・モジュール手法を採用することで、磁気式絶縁に対応し、高性能の平面トランスを絶縁型電力段および専用コントローラ・ダイとともに 1 パッケージに収容しています。TI は、これらのトランスを高性能フェライト・コアと空芯のどちらかを使って構成できます。結合および変換効率を向上させるにはフェライト・コアが適しており、アプリケーションがわずかな電力伝送のみを必要とする場合にコストと複雑さを低減するには空芯が適しています。

図9 は、非常に優れた熱性能を達成しながら低放射妨害波と高効率を実現するために、専用の制御機能、クロック供給方式、高 Q 内蔵平面型トランスを使ったデュアル・ダイ・マルチチップ・モジュールの一例です。このトランス・トポロジーは、TI 独自の薄膜ポリマー・ラミネート積層体を絶縁バリアとして使用しながら、オプションで上下のフェライト・プレートを使用することができます。図9 に示すトランスの構成は、互いに平行な 2 枚のフェライト・プレートで挟み込んだポリマー積層体の内側にトランス巻線を封じ込めた例を示しています。

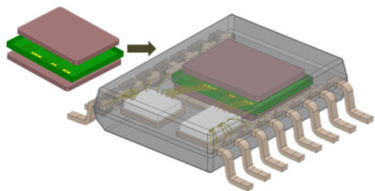


図9. 磁気結合フェライト・プレート高性能トランス

多くのアプリケーションでは、絶縁バリア越しに伝送する必要がある電力の量はわずか (100mW 未満) です。このようなアプリケーションのために、TI は高性能空芯トランスを作成するための技術を開発しました。TI の空芯トランスは、図9 に示す技術と似ていますが、フェライト・プレートは使いません。

TI のトランス (空芯、フェライト・プレート) はすべて、放射 EMI 性能を高めるためにシールド手法を採用しています。パッケージレベルの EMI 低減手法を採用することで、伝導および放射妨害波規格の制限を満たすための基板レベルのフィルタリングの追加の必要性を減らしています。

あらゆるアプリケーションにとって最適な単一の絶縁ソリューション、というものは存在しません。したがって、さまざまなパラメータと仕様を理解すると同時に、さまざまなトレードオフの間でバランスを取る必要があります。

絶縁に関する重要なパラメータ、認定、デバイスの種類ごとの設計および問題解決方法については、『TI プレシジョン・ラボ: アイソレーション』トレーニング・シリーズをご覧ください。

ソリューションのサイズとコストを削減しながら絶縁の要求を確実に実現

アプリケーションによって、必要とされる絶縁手法は異なります。ソリューションのサイズとコストも削減しながら高電圧絶縁の要求を確実に解決するうえで、TI の IC がどのように役立つかを示す複数の例をご紹介します。

EV アプリケーション

EV バッテリー スタックの電圧レベルは 400V から 800V、さらには 1kV へと増加し続けており、自動車メーカーによる軽量化、トルクの向上、効率の向上、充電の高速化の達成を可能にしています。そのような高電圧で動作する EV では、乗員や機器の安全性を確保するために高電圧絶縁が不可欠です。

絶縁型半導体を使うと、必要なレベルのガルバニック絶縁を達成しながら、低電圧デジタル回路とアナログ回路を高電圧バッテリーで安全に動作させることができます。絶縁型の電圧センサ、電流センサ、ADC、CAN トランシーバは、絶縁境界の両側で低電圧 DC バイアスを必要とする信号チェーン IC の一例です。UCC12051-Q1 は、5kV_{RMS} の絶縁を達成しながら最大 500mW の 5V 入力 / 5V 出力 (または 3.3V 出力) バイアスを供給するために TI の統合型磁気ラミネート プレーナートランス テクノロジーを採用した絶縁型低電圧 DC/DC パワー モジュールです。ISOW64xx は、ADC またはトランシーバに電力を供給する絶縁電源を内蔵し、最小のコストで最高の EMC 性能を実現するデジタル アイソレータです。

ISOW3080、ISOW1050 は、電源を内蔵した絶縁型

RS485、CAN 向けの、コストと基板面積を最小に抑えて最高の EMC 性能を実現するソリューションです。

バッテリー管理システム (BMS) とトラクション インバータの 2 つは、800V ドメインをシャーシから絶縁する必要がある最も重要な EV サブシステムです。

BMS は、高電圧バッテリー端子をサブシステムに接続する際にプリチャージ回路を使用します。5kV_{RMS} の TPSI3050-Q1 絶縁型スイッチドライバは、機械式プリチャージコンタクトを置き換え、より小型で信頼性の高いソリッドステートソリューションを実現します。乗員が高電圧にさらされないように、バッテリーの各端子 (HV+, HV-) と金属製シャーシの間の絶縁を BMS は高い頻度で監視します。ソリッドステートリレー (TPSI2140-Q1 など) は、バッテリーパック モニタ (BQ79631-Q1 など) と連動し、ソリッドステートフォトリレーよりも高速かつ高精度で 800V BMS の絶縁異常を検出します。TPSI2140-Q1 は、1MΩ 未満の抵抗を使用でき、従来型のフォトリレーの 3 倍以上のアバランシェ電流に耐えられるため、人とシステムとの相互作用をより安全なものにします。

図 10 に示すブロック図は、高電圧絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) またはシリコン カーバイド (SiC) モジュールを 3 相 DC/AC インバータ構成で駆動するために絶縁型ゲートドライバを使用したトラクション インバータの一例です。これらのモジュールはしばしば最大 6 つの IGBT または SiC スイッチと一緒にパッケージ化され、最大 6 つの絶縁トランスを必要とし、最大 6 つの独立したゲートドライバ IC に電力を供給します。外付けトランスの数を減らして PCB 面積を最小化するために、UCC14240-Q1 を使用できます。これは、トラクション インバータのゲートドライバ バイアス用途でより高い性能を実現できるデュアル出力、中電圧の絶縁型 DC/DC パワーモジュールです。

UCC14240-Q1 や UCC12051-Q1 のような絶縁型 DC/DC モジュールは、特定のバイアス機能に限らず各種電源アーキテクチャに適しています。スケラビリティを多少犠牲にすれば、信号チェーンと電源を 1 つの IC パッケージに統合することで、さらに高い集積度を実現できます。たとえば、電源内蔵デジタルアイソレータ (ISOW64xx)、電源内蔵 RS485 (ISOW3080)、電源内蔵 CAN (ISOW1050)、電源内蔵 ADC (AMC3336-Q1)、電源内蔵アンプ (AMC1350-Q1) があります。

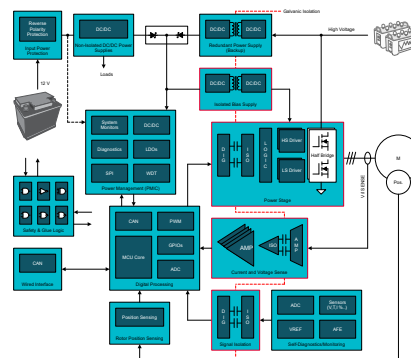


図 10. 代表的なトラクション インバータのブロック図

グリッド インフラストラクチャ アプリケーション

ソーラー エネルギー機器と EV チャージャは、200V~1.50 V またはそれ以上の電圧を使う場合があります。絶縁材は、これらの高電圧端子が誤って保護グランドに接続されることを防止するのに役立ちます。これらの絶縁材が劣化し始め、露出するリスクが増えると、大電流障害、爆発、装置と財産への損傷、死亡事故の可能性が生じます。

図 11 に、グリッド インフラ アプリケーションの絶縁抵抗監視のために、TPSI2140-Q1 絶縁型スイッチと AMC3330 高精度絶縁型アンプを使って設計された高電圧の EV (電気自動車) 充電とソーラー エネルギー分野の絶縁監視に適した AFE (アナログ フロント エンド) のリファレンス デザインを示します。このソリッドステートリレー ソリューションには可動部品がないため、数十年にわたって高頻度で測定でき、性能は低下しません。これらのデバイスは最大 125°C の高温で動作するように設計されています。一方、フォトリレーなどの代替技術は通常最大 105°C で動作するように設計されています。これらのデバイス内では絶縁バリア越しに電力と信号の両方を伝送できるため、2 次側バイアス電源は不要です。これらのデバイスは、薄型のスモール アウトライン IC パッケージで供給されるため、フォトリレーまたは機械式リレーを使ったソリューションよりも、ソリューションのサイズを 50% 縮小できます。温度範囲全体で精度を維持できるため、絶縁材の磨耗を検出および監視し、対応する警告またはフォルトを発行できます。

ソーラー スtring インバータと DC 高速充電器は高電圧 DC/AC および AC/DC 電力変換を内蔵しています。太陽光

発電パネルの出力は最大 1.50 V に達する可能性があり、DC 高速充電器の出力は、EV バッテリーパックの種類によっては、最大 1.00 V に達する可能性があります。安全上の理由から、どちらのシステムもガルバニック絶縁を必要とします。

電力変換システムに電圧および電流制御ループを実装するには、マイコンでは絶縁された高速かつ高精度の電圧および電流測定値を必要とします。AMC3302 絶縁型アンプと AMC3306M05 絶縁型 ADC はどちらも、電力損失を小さく保ち測定分解能を高く維持できるように小さなシャント抵抗に対応した $\pm 50\text{mV}$ の入力範囲を持ちます。

レベル 3 電気自動車充電ステーション向け、双方向、デュアル アクティブブリッジのリファレンス デザイン (図 12 を参照) は 10kW の双方向 DC/DC コンバータを使用しています。ピーク電力損失は、総変換電力の 0.01% 未満です。絶縁型電源を使用すると、ホット側の低電圧電源は不要です。このリファレンス デザインでは、AMC1311 絶縁型アンプを電圧センシングに使い、UCC21530 絶縁型ゲートドライバと ISO7721 絶縁型デジタル インターフェイスが高電圧 DC リンクまたは DC 出力から低電圧制御信号を絶縁しています。

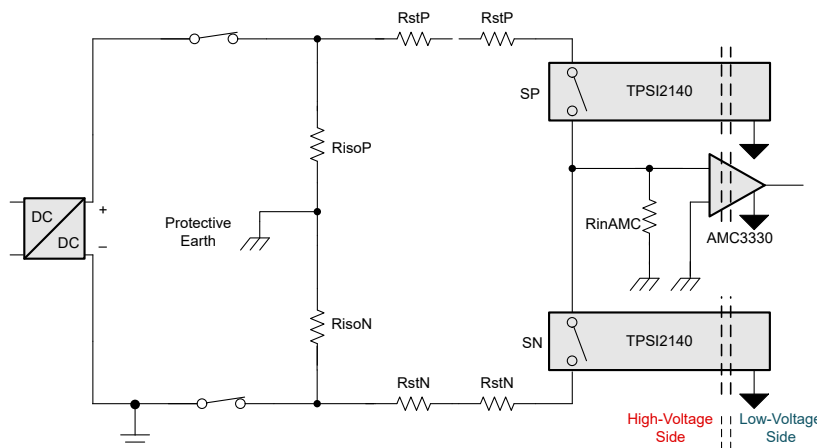


図 11. 高電圧の EV 充電とソーラー エネルギー分野の絶縁監視に適した AFE のリファレンス デザインのブロック図

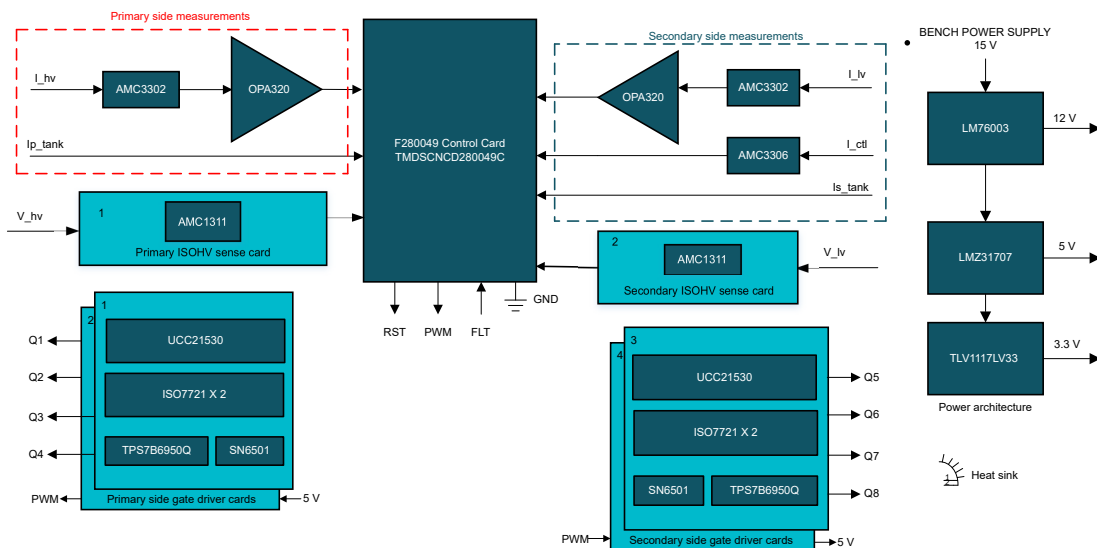


図 12. 双方向デュアル アクティブ ブリッジのリファレンス デザインのブロック図

ファクトリ・オートメーション・アプリケーション

プログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC) は、センサまたはトランスミッタから受け取ったデータを処理し、アイソレータを通じてマイコン (MCU) に送信します。フィールド側の電圧は通常は 24V であり、グラウンド・ループを断ち切るには、通常は基本絶縁で十分です。100V_{RMS}~500V_{RMS} という動作電圧、および 2.5kV_{RMS} という絶縁電圧の組み合わせは、大半の低電圧 PLC アプリケーションにとって十分良好な値です。沿面距離と空間距離の小さい各種パッケージは、スペース制約が厳しいこの種のアプリケーションにとって望ましい選択肢です。

デュアル・チャンネル 24V~60V の ISO1212 デジタル入力レシーバは、精密な電流制限、保護回路、絶縁を 1 つのパッケージに統合して部品点数の削減と性能向上を実現し、PLC デジタル入力の設計を簡略化および改善できるように設計されています。本デバイスは、長寿命の SiO₂ 絶縁バリアを統合することで、またシステム基板の温度を低減することでも信頼性を向上させています。

Sub-1W、16 チャンネル絶縁型デジタル入力モジュールのリファレンス・デザインは、1W 未満の内蔵入力電源を使いながら、IEC 61000-4-2 に規定された静電放電、電気的高速過渡、サージ・イベントに耐えるよう設計されています。各チャンネルは、最大 ±60V の入力電圧に耐えることができます。

図 13 に示す PLC デジタル入力モジュール内で、シリアルライザと、アイソレータのフィールド側に対して、5V または 3.3V の電源電圧から電力を供給する必要があります。絶縁型電源、または電源内蔵型のデジタル・アイソレータは、マイコン側で必須のバイアスを供給するので、フィールド側で個別の電源を用意する必要はなくなります。PLC アナログ入力モジュールは、アナログ入力フロント・エンド、さらには ISO7741 などのデジタル・アイソレータを通して信号を処理し、マイコンへと送信します。

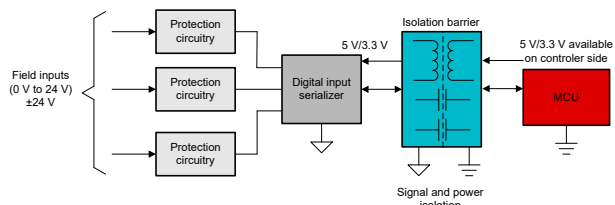


図 13. 絶縁型のデータと電力を取り扱う PLC デジタル入力モジュール

ファクトリ・オートメーションのもう 1 つの課題は、フィールド・トランスミッタの絶縁に関係しています。システム全体には 4mA~20mA の電力が供給されるため、ゼロスケール値がシステムの最大割当量 (通常は 3.3mA 未満) を決定します。

従来の絶縁ソリューションではチャンネルあたり 500µA~1mA が消費される可能性があるため、絶縁バリアを越える通信線の数を最小限に抑えるか、またはデータ転送速度を下げる必要があります。ISO7041 ファミリーは、小型パッケージに 2~4

つの超低消費電力デジタル・アイソレータ・チャンネルを内蔵しており、チャンネルあたり 3.5 μ A の低消費電力、最大 4Mbps のデータ・レート、-55°C~125°C の温度範囲、TI の SiO₂ 誘電体絶縁による安定性と信頼性の利点を実現しています。**低消費電力アプリケーション向け絶縁型電源およびデータ・インターフェイスのリファレンス・デザイン**では、ISO7041 を 4mA ~20mA トランスミッタに応用した例を示します。

モーター・ドライブ・アプリケーション

図 14 に示すように、モーター・ドライブは AC 商用電源から電力を取り込み、DC 電圧に整流し、モーター負荷の要求に応じて DC を可変の振幅と周波数で AC に逆変換します。

モーター・ドライブは通常、各種の絶縁型半導体部品を使用して電力回路と制御回路との間に絶縁バリアを設けています。絶縁型アンプまたは変調器は、電力回路からの電流および電圧フィードバック信号を測定および絶縁します。絶縁型ゲート・ドライブはマイコン (パルス幅変調 (PWM) 制御信号を生成) とパワー・トランジスタ (IGBT など) の間を絶縁します。絶縁型コンパレータは過電流、過電圧、過熱条件を検出し、マイコンにフォルト信号を送信します。デジタル・アイソレータによるインターフェイス絶縁 (オプション) は、システムの追加の安全要件を満たすのに役立ちます。

直流的に絶縁されたモーター・ドライブにより電源回路と制御回路の間のノイズ干渉を最小限に抑え、要員の安全を確保することが重要です。最新のモーター・ドライブ・システムは IEC 61800-5-1 安全規格も満たす必要があります。

電流および電圧フィードバック・ループの測定精度の向上は、トルク・リップルを最小化し、速度とトルクの滑らかな電流プロファイルをモーターに与えるのに役立ちます。**AMC1300** と **AMC1311B** などの絶縁型アンプや **AMC1306M25** や **AMC1336** などの絶縁型変調器は高精度の電流および電圧測定をサポートしています。これらのデバイスは高 CMTI であり、結合ノイズが小さいため、システムの信頼性を高めることができます。

絶縁型ゲート・ドライブは、伝搬遅延時間が短く、CMTI が高く、立ち上がり / 立ち下がり時間が短いため、より高い PWM 周波数と最小限のスウィッチング損失を実現できます。そのため、モーター・ドライブ・システムの設計に SiC および窒化ガリウム (GaN) トランジスタを容易に採用できます。フォルト・トレラント・システムでの高精度高速フォルト検出のために、**AMC23C12** 強化絶縁型コンパレータ・ファミリは、3% 未満の精度と、400ns 未満のレイテンシを備え、スペースと部品点数を最大 50% の削減した、コスト効率の優れたソリューションを提供します。

インターロック機能を内蔵した低 EMI の **ISO6760L** などのデジタル・アイソレータは、電源回路と制御回路の間、または (任意で) マイコンとインターフェイスの間で信号品位が高いデジタル信号を確実に伝送します。**絶縁型デルタ・シグマ変調器を使用した AC/DC 電圧および電流測定モジュールのリファレンス・デザイン**は、絶縁型電流および電圧測定向けに 1% 未満の精度を達成できる、コスト最適化された信頼性の高いソリューションを提供します。

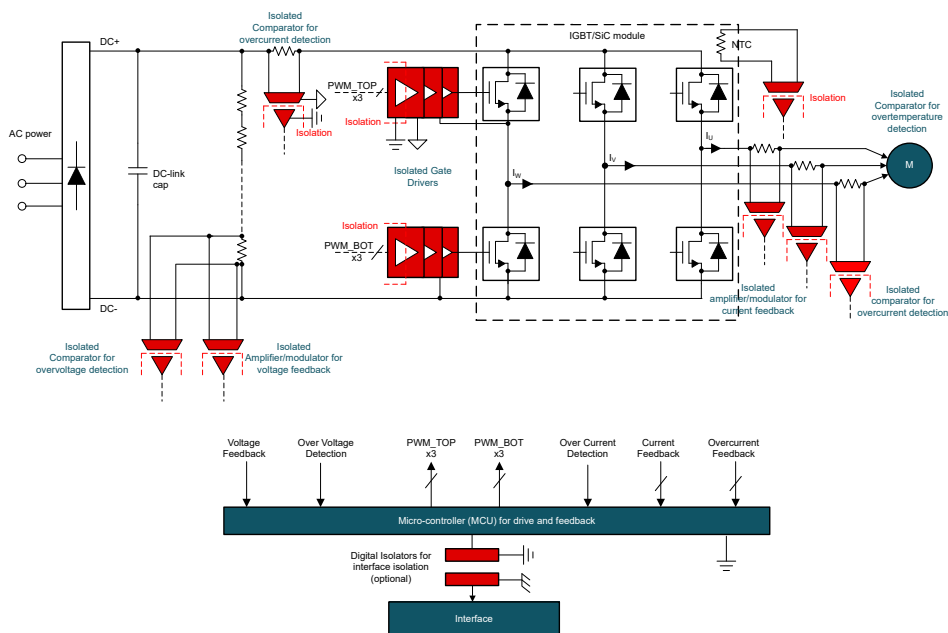


図 14. モータ・ドライブのブロック図

まとめ

産業用と車載の各アプリケーションで絶縁を使用すると、高電圧側で障害が発生した場合でも低電圧側の回路を保護し、グラウンドループを断ち切ってシグナルインテグリティを維持しながら、複数の電圧領域の間で通信を実施することができます。絶縁に使用できるさまざまな誘電体材質のうち、TIの静電容量式アイソレータが採用しているSiO₂（二酸化ケイ素）誘電体は、業界で最高クラスの寿命を達成するとともに、広い範囲の湿度と温度に対する安定性を示します。TIの統合型トランステクノロジーを採用すると、高密度の絶縁型DC/DC電力変換を実現しながら、EMIを低減することができます。

各種信号アイソレータと電力アイソレータで構成されたTIの製品ラインアップは、エンジニアが最も厳格な絶縁システム要件に確実に準拠するのに役立ちます。

高い動作電圧と高い信頼性によって安全性を向上させる方法と、以下に示すTIの幅広い絶縁製品ラインアップについては、www.ti.com/isolationtechnologyをご覧ください。

- デジタルアイソレータ
- 絶縁型ADC
- 絶縁型アンプ
- 絶縁型コンパレータ
- 絶縁型ゲートドライバ
- 絶縁型インターフェイスIC
- シグナルアイソレータ向けの電源
- ソリッドステートリレー

その他の資料

- TIの高電圧絶縁コンデンサの信頼性の詳細については、『高電圧信号絶縁の品質と信頼性の実現』ホワイトペーパーをご覧ください。
- アプリケーション概要『絶縁型24V PLCデジタル入力モジュールの設計を簡素化する方法』をご確認ください。

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](#)、[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