

Technical White Paper

テ双方向オンボードチャージャにおける絶縁監視デバイス (IMD) アーキテクチャの比較分析



Forest Fu, Josh Wei, Prashant Kumar, Liyu Zou

概要

オンボードチャージャ (OBC) の双方向機能は、電気自動車 (EV) の重要なトレンドとなりつつあります。このトレンドは、V2X (車車間/路車間通信) アプリケーションを実現するものです。絶縁不良に起因する感電の危険から利用者を保護するためには、V2L (車両から電気機器に電力供給できる機能) や V2H (車両の電力を家庭・住宅で使用できる機能) の導入において、安全対策を強化することが不可欠となります。そのため、絶縁監視デバイス (IMD) は双方向 OBC システムにおける不可欠な部品となっています。このドキュメントでは、基本アーキテクチャ、デュアルスイッチアーキテクチャ、アクティブシングルスイッチアーキテクチャという絶縁監視における 3 つの一般的な IMD オプションについて考察します。どのオプションも電気ブリッジスイッチ技術を採用しています。このドキュメントでは、各アプローチの利点と制限を徹底的に分析し、各アプローチの性能を評価するための比較シミュレーションの結果を示します。また、このドキュメントには、テキサスインスツルメンツの特定のデバイス推奨事項と理論的な分析が含まれています。これは、さまざまなアプリケーションシナリオに対応する IMD 回路設計の包括的なリファレンスガイドとして利用することができます。

目次

1 概要.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 システム要件.....	3
1.3 典型的な課題.....	4
2 絶縁監視アーキテクチャ.....	6
2.1 基本的なアーキテクチャ.....	6
2.2 デュアルスイッチアーキテクチャ.....	6
2.3 アクティブシングルスイッチアーキテクチャ.....	7
2.4 アーキテクチャの比較.....	7
3 主要部品.....	7
3.1 ソリッドステートリレー.....	8
3.2 電圧センサ.....	10
3.3 DC の電源.....	10
4 まとめ.....	10
5 リファレンス.....	11

1 概要

1.1 背景

電気自動車の進化に伴い、走続距離の延長や出力性能の向上が図られる中、バッテリーシステムに 800V 以上のアーキテクチャを採用する傾向が高まっています。こうした高電圧 (HV) システムにおいて、利用者の安全は依然として最優先事項となります。そのため、すべての HV 部品は高抵抗の経路を介して保護接地の絶縁を維持する必要があります。絶縁不良は、ワイヤハーネスの劣化、電力処理部品の経年劣化、Y コンデンサの損傷といった極端な電氣的ストレス事象など、さまざまな原因で発生する可能性があります。単一の絶縁不良が発生すると、システムは安全でない状態に移行します。感電は必ずしもインピーダンスの初期低下によって直接引き起こされるわけではありませんが、インピーダンスが低下した状態で人が接触すると生命に関わる危険が生じる可能性があるため、直ちに警告を発する必要があります。

DC 高速充電ステーションを含め、絶縁型電源システムは、該当する安全規格に従う必要があります。表 1-1 に示されているように、これらの規格は地域によって異なります。

表 1-1. さまざまな地域の IMD 関連規格

地域	標準	範囲
欧州	IEC 61851-23	DC 高速チャージャと通信する際に OBC がサポートする必要がある車両側監視機能を定義します。
欧州	IEC 61557-8	車載 OBC に採用されている情報技術システムで使用される IMD の一般要件
欧州	ISO 6469-3	ECE R100 に記載されている車両全体の安全要件。
北米	UL 2231-1 UL 2231-2	チャージャの IMD と連動する車両側保護機能を規定します。
中国	GB/T 18487.1	IEC 61851-21 および IEC 61851-23 の中国版。
中国	GB/T 18487.4	第 4 部が電気自動車の放電要件です。
日本	JARI JSAE ガイドライン	ISO 6469-3 および IEC 61557-8 に適合し、日本の環境制限が追加されています。
その他の地域 (オーストラリア [AS]、ニュージーランド [NZ]、韓国、インドなど)	IEC 61851-23、IEC 61557-8、ISO 6469-3 の各国での採用	気候や表示に関する軽微な差異を除き、欧州版と同様の機能範囲を有しています。たとえば、AS/NZS 61851-21-1、KS C-IEC 61851-21-1、BIS ISO 6469-3 などです。

IEC 61557-8 および GB/T 18487.1 では、絶縁バリアの抵抗について、警告 ($500\Omega/V \text{ d.c.} - 2\text{mA}$) および故障 ($100\Omega/V \text{ d.c.} - 10\text{mA}$) のスレッショルドが設定されています。IMD 回路は絶縁抵抗を監視し、絶縁抵抗が不十分な場合に故障を報告します。絶縁抵抗が不十分な場合、リーク電流が許容限界を上回る可能性があります。

図 1-1 に、チャージャ側と車両側の両方に絶縁監視デバイス (IMD) が取り付けられている様子を示します。2 つの IMD は連携して、充電プロセス全体および車両の運転中に DC 電源回路の絶縁バリアを監視します。

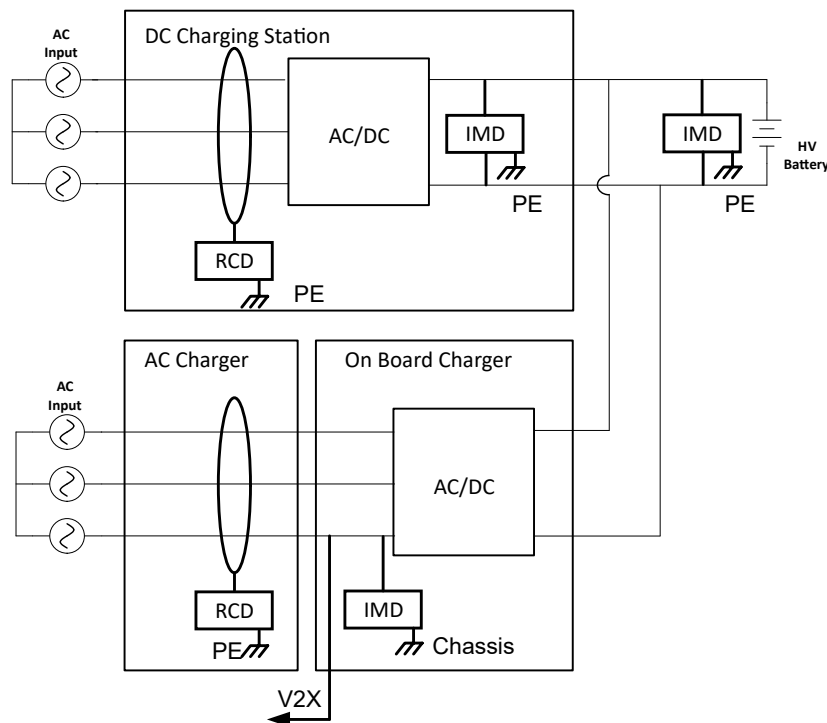


図 1-1. 車載アプリケーションにおける IMD の使用事例

GB/T 18487.1-2023 によると、次のシーケンスと要件が適用されます。

- 車両用カプラの接続からリレーの閉路までの間に、チャージャによって内部絶縁監視 (充電ケーブルを含む) が完了します。

- リレーが閉じた後、エネルギー転送段において、電気自動車によって充電システム全体の絶縁監視が完了します。

したがって、これら 2 つの IMD 回路は連携して、充電および走行中に、充電側と車両側の両方で絶縁抵抗が通常の範囲内にとどまることを検証します。

AC の充電か DC の高速充電かにかかわらず、通常は AC 側に残留電流検出 (RCD) 回路があります。RCD 回路と IMD 回路の機能にはわずかな相違があります。RCD 回路は、総リーク電流を監視することで絶縁不良を判定し、IMD 回路は絶縁抵抗を監視します。表 1-2 に、IMD 回路と RCD 回路の比較を示します。

表 1-2. IMD 回路と RCD 回路の相違

方法	RCD	IMD
目的	位相と中性線との間の不平衡を検出し (地絡経路の存在を示す)、迅速に電源を遮断します。	絶縁バリア (HV± ~ 保護接地間) が、規定の抵抗値以上に維持されていることを確認します。
原則	導体内の電流の合計を測定します。設定されたスレッショルドを超える残留電流は、デバイスをトリップします。 定格電流 < 30mA DC 電流 < 6mA	高抵抗の経路を通じてテスト電圧を印加し、その結果生じる電流を読み取ること で、絶縁抵抗を測定します。 安全:> 500Ω/V 警告:≧100Ω/V ~ 500Ω/V 不良:< 100Ω/V。
所在地	通常、利用者がアクセスできる負荷の上流側に設置されます。 DC 高速充電ステーションの場合:RCD は、追加の保護デバイスとして DC リンクに配置できます。	- チャージャ側 IMD:チャージャ HV バスと商用電源コネクタ (ケーブルを含む) の間。 - 車両側 IMD:車両 HV バスと DC インレットの間 (ケーブル、コネクタ、オンボード HV バスをカバー)。
応答時間	30mA デバイスの場合、≤30ms (標準値)。	故障検出の場合、≤10s (IEC 61557-8)。多くの OEM には ≤5s が必要です。一般的には、0.5 ~ 1s の間隔で継続的な監視を行います。
動作モード	残留電流を検出したときの瞬間的なトリップ。プリチャージ絶縁チェックを実施しません。	電力フロー前とフロー中の絶縁抵抗を継続的に監視します。プリチャージの検証は必須です。
オプション	電流トランス。	電気ブリッジ スイッチ。
リファレンス デザイン	TIDA-010237	TIDA-010232 (DC 側)、『アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャを用いたオンボード チャージャシステムにおける絶縁監視デバイス (IMD) の設計』アプリケーション ノート

既存の IMD および RCD 回路は、単方向 OBC のシナリオをカバーします。しかし、電気自動車 (EV) のオンボード チャージャ (OBC) における双方向の電力フロー機能が登場したことで、これらのシステムにより、従来型の「グリッドから車両へ」の充電だけでなく、アプリケーションにおける逆方向への電力フローも可能となりました。EV がモバイル電源として機能する傾向が強まっている現状で、絶縁不良に起因する感電の危険から利用者を保護するには、安全対策の強化が不可欠となります。したがって、絶縁監視に関する新しい要件が出てきました。

- V2X 構成では、車両は DC 高速チャージャにも AC 充電ステーションにも接続されないため、RCD または外部チャージャの IMD 回路によって提供される絶縁監視機能は使用できません。
- OBC が逆電力モード (DC から AC) で動作する場合、パワートレインは絶縁 DC-AC トポロジを採用します。したがって、BMS 側にある IMD は DC 側の不良のみを検出でき、コンバータの AC 側で発生し得る絶縁不良を検出できません。
- こうした理由から、図 1-1 に赤色のブロックで示されているように、V2X の動作シナリオを確実にカバーするためには、オンボード チャージャの AC 入力側に絶縁監視デバイスを組み込む必要があります。

1.2 システム要件

V2L と V2H の動作における安全性を維持するため、OBC は多くの絶縁監視要件を満たす必要があります。こうしたニーズに対応する最新の規格は、GB/T 18487.4-2025「電気自動車の導電式充放電システム—第 4 部:電気自動車の放電要件」です。2025 年 4 月 25 日に発行されたこの規格は、2025 年 11 月 1 日に施行される予定です。この規格では、従来は充電時に限られていた安全関連の絶縁監視規定 (GB/T 18487.1/2) が拡大され、V2L (車両から電気機器に電力供給できる機能)、V2H (車両の電力を家庭・住宅で利用できる機能)、V2X (車車間/路車間通信) の放電動作も対象に含まれるようになりました。以下に、OBC システムの絶縁監視要件に関する簡単な概要を示します。

- 適用範囲:
 - 外部負荷、建物、またはグリッドへの給電が可能な EV のすべての導電性 DC-AC または DC-DC 放電機能に適用されます。

- スタンドアロンと統合型の両方の OBC アーキテクチャに適用されます。IMD 回路は、ライン | 中性線と PE の間に取り付けする必要があります。
- 公称 AC 出力電圧 $\leq 250V$ と DC 出力電圧 $\leq 1000V$ の車両に準拠していることが要求されます。
- 精度:
 - 絶縁抵抗は、L から PE へ、または N から PE への最小値です。
 - 不良状態: $R < 500\Omega/V$ 、安全状態: $R > 500\Omega/V$ 。
 - 対称絶縁不良と非対称絶縁不良の両方を、IMD 回路で識別する必要があります。
- 応答時間:
 - 放電段中のリアルタイム IMD です。
 - 絶縁監視期間は 10s 未満でなければなりません。
 - 絶縁監視の応答時間は 100ms 未満でなければなりません。
- 耐電圧試験 (Hi-pot テスト):
 - 動作電圧が 300V ~ 690V の場合、2000VAC または 2930VDC です。
 - 定格電圧の 1.1 倍の電圧で、60s 間または 1s 間テストします。
 - テスト中の不具合はなく、リーク電流は 10mA 未満です。

上記の要件に加え、AC 側 IMD については明示されていない DC 側 IMD に関する要件や、世界各地の OEM に依存する要件も存在します。

- 放電前段階、閉鎖後段階、および停止段階における絶縁監視シーケンス。
- 自己診断: パワーアップセルフテスト、定期的なセルフテスト、CAN レポート、不良メモリ。

他の安全デバイスとの相互作用: AC 側の RCD 回路との相互作用、またはバッテリー マネジメント システム (BMS) またはチャージャの IMD 回路との相互作用。

1.3 典型的な課題

DC 方式の絶縁監視とは異なり、AC 方式の絶縁監視は、車両内における AC 絶縁の配置や多岐にわたる動作シナリオに起因するさらなる困難に直面します。以下に、主な課題の概要を説明し、各課題の簡単な分析を提供します。

1.3.1 Y コンデンサの影響

オンボード チャージャ (OBC) の AC 側には、通常、2 段 EMI フィルタと、そのフィルタの重要な要素として Y 型コンデンサが組み込まれています。V2L の場合、外部負荷には負荷側に個別の EMI フィルタが装備され、回路にさらに Y 型容量が追加されます。負荷の Y コンデンサの値は事前にわかっていないため、合計容量が 100nF まで上昇する可能性があります。絶縁監視の設計が大幅に複雑になる可能性があります。

Y コンデンサは 2 つの方法で測定に影響を与えます。コンデンサは過渡時間中に誤差を発生させ、定常状態の読み取り値を歪めます。「Y コンデンサの影響」では、典型的な AC 電圧検出回路を示しています。上部の波形は、真の AC 電圧を示しています。下部のパネルには、Y コンデンサが無視された場合に検出される電圧を緑色のトレースで表し、Y コンデンサの効果を考慮した場合に実際に検出される電圧を赤色のトレースで示しています。

「Y コンデンサの影響」では、AC 電圧検出ループにおいて Y コンデンサが引き起こす 2 つの異なる誤差メカニズムについて説明しています。

- 過渡状態誤差 (図 1-2): 測定が開始する時点 ($t = 0.025s$) で、コンデンサを検出抵抗を介して充電する必要があります。この充電間隔中、測定電圧は実際の値から逸脱し、電圧が安定した後にのみ、測定値が正確になります。
- 定常状態誤差 (図 1-3): Y コンデンサは周波数に依存するインピーダンスを示すため、検出された波形は実際の AC 電圧に対して位相シフトされます。検出された電圧が真の電圧につながり、位相リードは容量が増加すると増加します。

Y コンデンサの影響

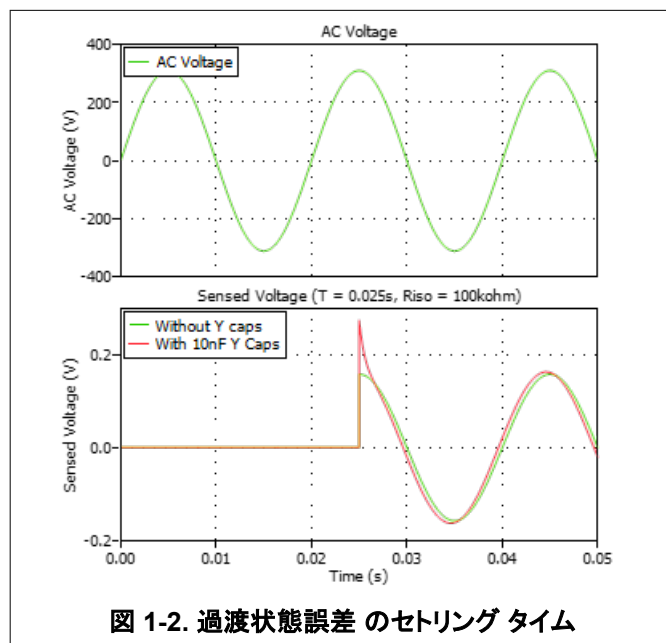


図 1-2. 過渡状態誤差のセトリング タイム

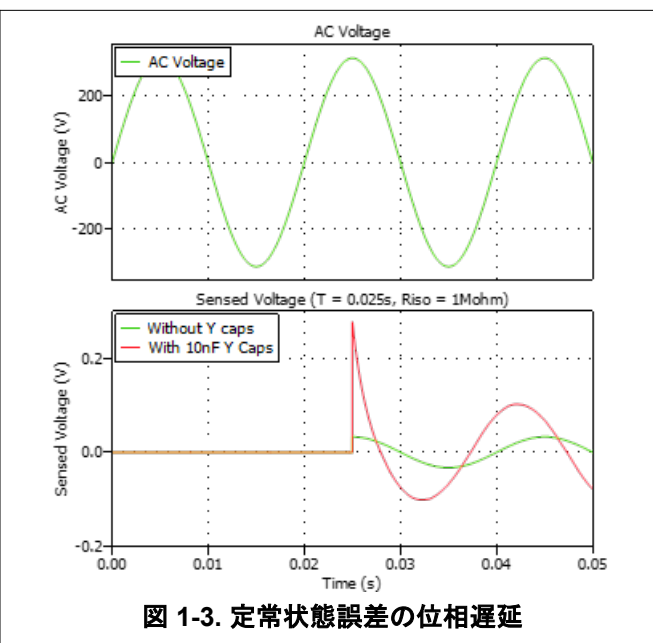


図 1-3. 定常状態誤差の位相遅延

時定数 ($\tau = R \times C$) は、両方の影響の重大度を制御します。 τ が大きいと充放電期間が長くなり、セトリング タイムが延びるとともに、位相偏差が増大します。特定の Y 型容量については、IMD の測定ネットワークの抵抗を小さくする (例えば、R を小さくする) と τ が短くなるため、測定精度が向上します。

1.3.2 高電位テスト

一般的に、耐電圧試験 (Hi-pot テスト) は、オンボード チャージャの AC 側と保護接地との間で行われます。図 1-4 に、標準の高電位テスト設定を示します。GB/T 18487.1-2023 によると、装置の定格絶縁電圧が 690V ~ 800V の場合、2 つの 830V DC のテスト電圧が印加されます。高電位テストでは、IMD 回路に次の 2 つの主要な要件が課されています。

- 耐電圧: IMD は、劣化や故障を起こさずに、2 つの 830V DC の全ストレスに耐える必要があります。
- リーク電流制限: 電圧アプリケーション中は、測定されたリーク電流が規格で規定されているスレッショルドを下回る必要があります。

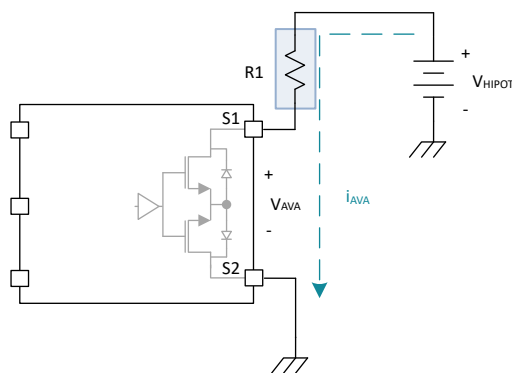


図 1-4. 耐電圧試験の図

1.3.3 広い AC 電圧範囲

IMD 回路に専用の電圧源が含まれていない場合、回路は励起として個々の AC ライン電圧に依存する必要があります。このような依存により、以下の 2 つの潜在的な困難が生じます。

- 電圧ピークでの分解能: 絶縁を正確に監視するには、波形のピーク付近で測定する必要があります。波形のピーク付近では、信号対雑音比が最も高くなります。ゼロクロスで測定を行う場合、検出された電圧は本質的にゼロであり、オペアンプの入力オフセットが読み取り値を支配するため、大きな誤差が生じます。そのため、AC ピーク付近で発生する検出を維持することが課題となります。
- 可変 AC 振幅: V2H 動作では、インバータの出力は広範囲にわたって変動する可能性があるグリッド電圧に追従する必要があります。絶縁不良を判定するために使用されるリファレンス電圧は AC ラインから生成されるため、許容されるリーケージのスレッシュホールドは瞬間的な振幅に適応する必要があります。したがって、これらの変化する条件下で、電圧に依存しない堅牢な不良基準を定義することが困難です。

2 絶縁監視アーキテクチャ

(さまざまな絶縁監視要件に応じて)、基本的なアーキテクチャ、デュアル スイッチ アーキテクチャ、アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャという 3 つの一般的な IMD オプションがあります。

2.1 基本的なアーキテクチャ

図 2-1 に、基本的なアーキテクチャのブロック図と等価回路を示します。 R_{isoL} は、ラインと PE の間の絶縁抵抗です。 R_{isoN} は、中性線と PE の間の絶縁抵抗です。 R_{stL} および R_{inL} は、ラインと PE の間の抵抗デバイダです。 R_{stN} および R_{inN} は、中性線と PE の間の抵抗デバイダです。

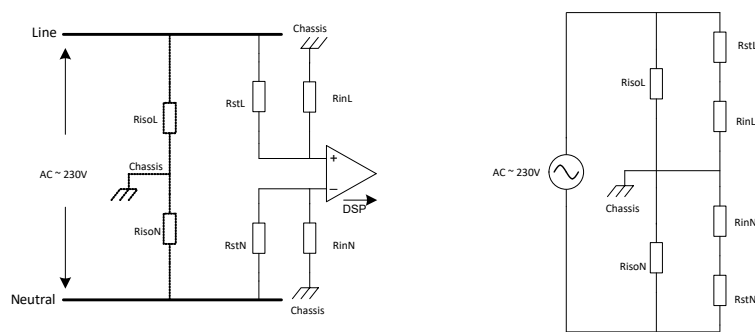


図 2-1. 基本的なアーキテクチャのブロック図と等価回路

このアーキテクチャの基本動作原理は、2 つの直列抵抗が 2 つの電圧を測定し、オペアンプが差動電圧をシングルエンド電圧に変換することです。

2.2 デュアル スイッチ アーキテクチャ

図 2-2 に、デュアル スイッチ アーキテクチャのブロック図と等価回路を示します。デュアル スイッチ アーキテクチャと基本的なアーキテクチャの主な違いは、ラインと中性線の間に 2 つのスイッチを接続することです。

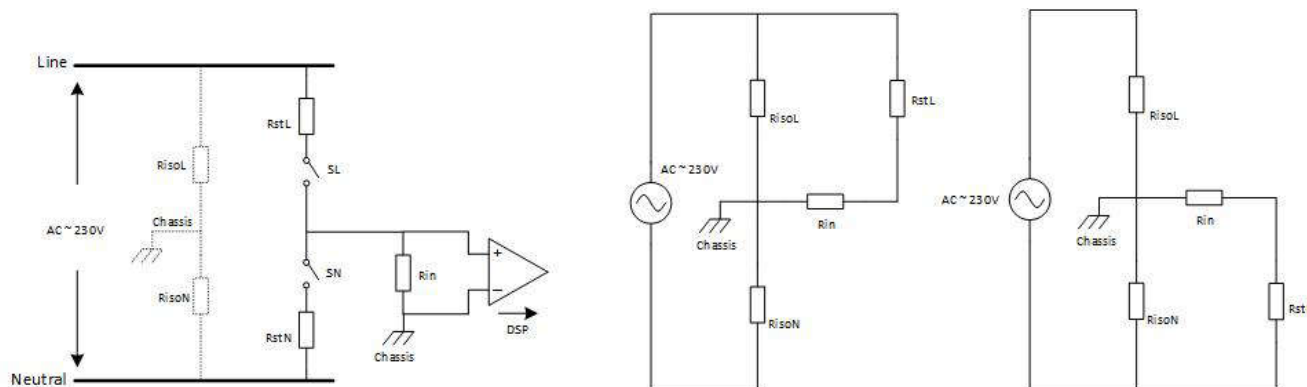


図 2-2. デュアル スイッチ アーキテクチャのブロック図と等価回路

基本的な動作原理は、これら 2 つのスイッチを交互に閉じて、2 つの異なる等価回路を形成することです。2 つの等価回路は 2 つの異なる式に対応しているため、 R_{isoL} と R_{isoN} という 2 つの絶縁抵抗の値が求められます。TIDA-010232 は、このアーキテクチャに基づくリファレンス デザインです。

2.3 アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャ

図 2-3 に、アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャのブロック図と等価回路を示します。図では、IMD 回路は中性線に接続されていますが、回路はラインまたはシャーシに配置することもできます。このアーキテクチャの特徴は、1 つのスイッチと 1 つの外部バイアス電源です。

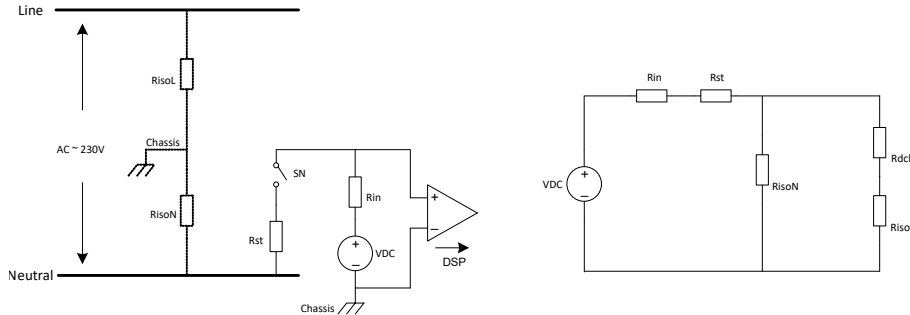


図 2-3. アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャのブロック図と等価回路

基本的な動作原理は、SN が閉じたときの等価回路に基づいています。DC バイアス電源は、回路の電圧源です。システムの実効絶縁抵抗は、抵抗デバイダによって解決できます。

2.4 アーキテクチャの比較

表 2-1 に、前述の分析と等価回路に基づき、3 つの IMD アーキテクチャの特性をまとめます。

表 2-1. アーキテクチャの比較

アーキテクチャ		基本	デュアル スイッチ	アクティブ シングル スイッチ
部品		オペアンプ × 1	スイッチ × 2 + オペアンプ × 1	スイッチ × 1 + オペアンプ × 1 + DC バイアス × 1
精度		低	高	中
ソフトウェアに関する工数		低	高	中
コスト		低	高	中
Y コンデンサの影響		高	中	低
特長	対称 非対称不良	無	有	有
	故障の位置を検出	有	有	無
	絶縁抵抗の計算	無	有	無
	AC 電圧がかかっていない状態で動作	無	無	有
黄金律		$(R_{isoP} - R_{isoN}) \uparrow \rightarrow V_{in} \uparrow$	$R_{isoP} \downarrow \rightarrow V_{in} \downarrow, R_{isoN} \downarrow \rightarrow V_{in} \uparrow$	$R_{sys} \uparrow \rightarrow V_{in} \uparrow$

3 主要部品

高電圧スイッチと電圧検知回路は、絶縁監視デバイス (IMD) の 2 つの重要な要素です。スイッチは IMD の等価ネットワークを変化させるため、マイコン (MCU) はシステムのインピーダンスを判断できます。一般的に使用されるスイッチは機械式リレーですが、リレーは大型で重く、長期動作では信頼性が低下する傾向があります。

電圧検出は通常、オペアンプまたは絶縁アンプを使用して実行されます。実現可能な精度と絶縁レベルは、選択によって決まります。測定パスの直列抵抗も、検出精度に大きな影響を及ぼすため、全体的な精度の仕様を満たすように公称値と許容誤差の両方を選択する必要があります。

また、マイコンの配置が設計の重要な決定事項になります。次の説明では、マイコンが IMD の低電圧側にあり、車両のシャーシグラウンドを共有していると想定しています。このトポロジにより、接地と通信が簡素化されますが、高電圧フロントエンド設計にはさらに制約があります。

3.1 ソリッドステート リレー

ソリッドステート リレー (SSR) は、半導体 FET を用いて、絶縁バリアを備えた高耐圧スイッチを構成します。従来型の電気機械式リレーと比較して、SSR には多くの明確な利点があります。

- **高信頼性:** SSR には可動接点がないため、摩耗、アーク放電、接点バウンスが発生しません。SSR の定格寿命は、一般的に電磁リレーの 10 ~ 100 倍と長く、振動、衝撃、塵埃、湿度などの影響を受けないほか、幅広い温度範囲で動作可能です。
- **高速スイッチング:** 数ミリ秒のスイッチング時間を要し、バウンスを伴う機械式リレーと比較して、SSR はマイクロ秒単位のスイッチング時間とバウンスのない動作を実現します。これにより、よりクリーンな電圧測定と故障の早期検出が可能になります。
- **予測可能な電氣的パラメータ:** SSR のオン抵抗とリーク電流は厳密に規定されており、機械式リレーに見られるような可変接触抵抗や制御不能なリークとは異なり、製品寿命を通じて安定しています。
- **シンプルな回路:** SSR はロジック レベル信号で直接駆動可能です。専用のドライバやコイル励磁用の独立した電源を必要としないため、部品点数や設計の複雑さを低減できます。
- **コンパクト サイズ:** SSR は小型パッケージ内に容量性絶縁機能を統合しており、電磁リレーに特有のかさばるコイル、ドライバ、補助電源部品を不要にすることで、PCB 面積を削減できます。

これらの利点は、オンボード チャージャにおける絶縁監視機能の高サイクル数の動作や安全性への高い要求に直接応えるものであるため、SSR は機械式リレーに代わる最適な選択肢となります。表 3-1 に、従来型のオプションと SSR との比較を示します。

表 3-1. 従来型のオプションと SSR との比較

仕様	TI ソリッドステートリレー	PhotoMOS	リレー
ターン オフ時間	<400 μ s	<4ms	$\approx$ 10ms
$I_{Avalanche}$	<1mA	<1mA	x
オン抵抗	$\approx$ 300 Ω	$\approx$ 500 Ω	<1 Ω
サイズ	小型	小型	大型
AEC	適格	不適格	適格

TPSI2140-Q1 は、MOSFET パワー デバイスと絶縁ゲートドライブ インターフェイスを統合したテキサス インストルメンツのシングル チャネル高電圧ソリッドステート スイッチです。図 3-1 の図に、TPSI2140-Q1 デバイスのブロック アーキテクチャを示します。このデバイスは、1 つの 200V オン/オフ スイッチのスイッチング機能を備えており、最大 60 秒間の 1mA アバランシェ電流に耐えられます。そのため、耐電圧試験 (Hi-pot テスト) が可能です。このデバイスは、デュアル スイッチ アーキテクチャとアクティブ シングル スイッチ アーキテクチャの両方での実装に適しています。

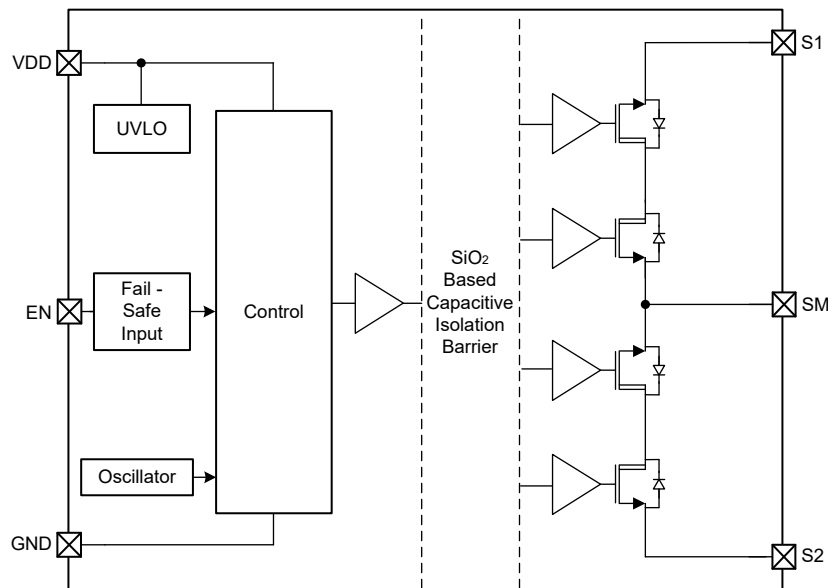


図 3-1. 単方向 SSR TPSI2140-Q1 のブロック図

TPSI2072-Q1 は、MOSFET パワー デバイスと絶縁ゲートドライブ インターフェイスを統合したテキサス インストルメンツのデュアル チャネル高電圧ソリッドステートスイッチです。このデバイスは、デュアル スイッチ アーキテクチャでの実装に適しています。図 3-2 に、TPSI2072-Q1 図を示します。

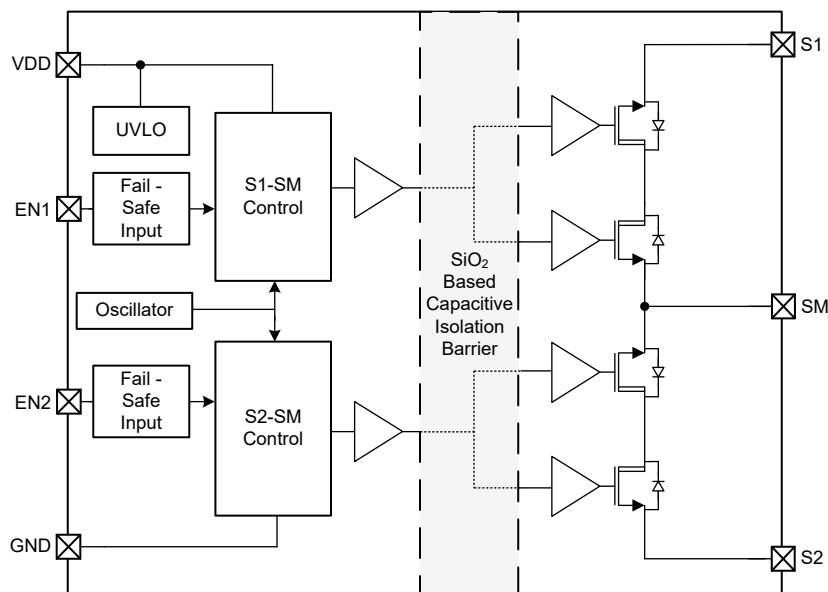


図 3-2. 双方向 SSR TPSI2072-Q1 のブロック図

IMD にソリッドステートリレーを使用する際に考慮すべき主な仕様は以下のとおりです。

- 絶縁バリア: 半導体技術を採用した TPSI2140-Q1 および TPSI2072-Q1 デバイスは、1000Vrms AC または 1500V DC の条件下で、26 年を超える絶縁性能を維持できる可能性があります。
- スタンバイ電圧: SSR に印加される外部電圧がスタンバイ電圧より低い場合、S1 から S2、または S2 から S1 に流れるリーク電流はわずか 1uA です。従来型のリレーと比較して、接点溶着の懸念はありません。
- アバランシェ電流: この仕様は、耐電圧試験において検証されます。耐電圧試験時に、 R_{st} と SSR に $\approx 2kV \sim 3kV$ が印加されます。SSR のスタンバイ電圧は 1.2kV であるため、電流を制限し、SSR のアバランシェ電流制限を超えないように R_{st} が必要です。 R_{st} の選択は、耐電圧試験を考慮する場合の信頼性と検出精度のトレードオフとなります。

- ターン オン/オフ時間: 前述の [セクション 2](#) の分析に基づくと、Y コンデンサは 50Hz または 60Hz システムのセトリング タイムに大きな影響を及ぼします。Y コンデンサは OBC システムの EMI を抑制するのに役立ちますが、Y コンデンサが大きいほど、IMD の検出ウィンドウが短くなります。したがって、回路の設計時の EMI の利点と IMD のトレード オフとの間のバランスを取るように、Y コンデンサの値を注意深く選択する必要があります。
- オン抵抗: オン抵抗は、個別のリレーがメイン パスから電圧を分圧したときの検出精度に影響を及ぼします。

3.2 電圧センサ

電圧センサは、絶縁監視システムのすべての機能を支える電圧情報を正確かつリアルタイムで提供します。

- 優れた感度: 高精度の電圧センサは、いくつかのメガオームの絶縁不良によって引き起こされるミリボルトレベルの変化を解決できるため、危険なリーク電流が発生する前に劣化を早期に検出できます。
- 高速応答: 高速応答電圧センサは、過渡電圧の変動に追従し、IMD アルゴリズムがノイズを除去して測定精度を維持します。

電圧センサ回路は、高電圧抵抗デバイダとオペアンプで構成されます。抵抗デバイダは、SSR と接続する IMD 回路の重要な要素です。高電圧抵抗は測定スケールを設定するだけでなく、システムの精度要件を満たすようにアバランシェ電流を制限します。LM2904B-Q1 などの標準オペアンプがこの目的に適しています。力率補正 (PFC) マイコンに絶縁監視機能を実装する場合、HV 側と制御側の間の適切な絶縁を維持するために、個別の高電圧電源を備えた絶縁アンプを使用する必要があります。

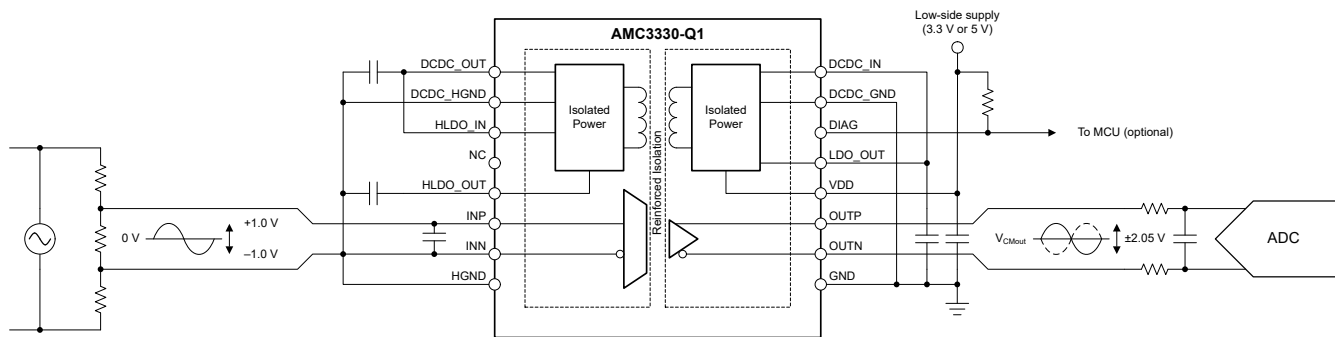


図 3-3. AMC3330-Q1 の代表的なアプリケーション

[図 3-3](#) に、絶縁アンプのブロック図を示します。AC 電圧は PFC 側のマイコンを用いて高電圧側で測定されますが、IMD 回路は車両シャーシを基準としています。AMC3330-Q1 を使用することで、高電圧側における個別の絶縁電源が不要になり、設計を簡素化すると同時に、必要な絶縁を維持できます。

3.3 DC の電源

DC 電源は、アクティブ シングル スイッチトポロジでのみ必要となります。一般的に、DC 電圧が高いほど、検出精度は向上します。これは、このタイプの電圧により、AC ラインの電圧が測定に及ぼす相対的な影響が低減されるためです。昇圧コンバータは、一般的に、車両の低電圧バッテリー (通常 12V、8V ~ 16V の範囲) からこの高い電圧を得るために使用されます。

TI が提供する TPS61170-Q1 昇圧コンバータは、1.2MHz で動作し、最大 38V の出力を実現するとともに、軽負荷時でも高い効率を維持します。そのため、絶縁監視回路用の安定した VDC を生成する上で、コスト効率に優れたソリューションとなります。

別の選択肢として、ゲートドライバに絶縁されたバイアス電力を供給するための巻線をトランスに追加する方法があります。この代替案では、個別の昇圧コンバータが不要になるものの、トランスの設計が複雑になり、特に軽負荷時における電圧レギュレーションが困難になります。

4 まとめ

電気自動車の普及が加速する中、V2X 機能を搭載した双方向オンボード チャージャ (OBC) が不可欠な要素となっています。システム レベルの分析により、AC 側の残留電流デバイス (RCD) も、BMS に配置された DC 側の絶縁監視デバイス (IMD) も、V2X 操作における絶縁監視の要件を満たせないことが明らかになっています。このドキュメントでは、OBC

の V2X 要件と従来型の DC-IMD の基本を検討して、3 つの実行可能な AC-IMD トポロジをご紹介します、含まれる計算を使用してこれらのトポロジの利点と妥協点を評価しています。

現時点では、基本的なアーキテクチャは、低コストなオプションを提供しますが、その性能には限界があります。現時点では、デュアル スイッチ アーキテクチャは、比較的高いコストで最高の性能を提供します。アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャには外部電源が必要ですが、現時点では性能とコストのバランスがより優れています。

これらの検出方式を TI が提供する適切なソリッドステートリレー デバイスと統合することで、設計者は V2X 対応 OBC で精度、速度検出、フットプリント、信頼性の優れたバランスを実現できます。

5 リファレンス

1. テキサス インスツルメンツ、『[アクティブ シングル スイッチ アーキテクチャを用いたオンボード チャージャ システムにおける絶縁監視デバイス \(IMD\) の設計](#)』、アプリケーション ノート
2. テキサス インスツルメンツ、『[高電圧アプリケーションにおけるソリッドステートリレーによる絶縁監視設計の簡素化](#)』、テクニカル ホワイト ペーパー
3. テキサス インスツルメンツ、『[TIDA-010232 リファレンス デザイン](#)』、ツール
4. テキサス インスツルメンツ、『[TPSI2072-Q1: 絶縁監視および高電圧測定用 2mA アバランシェ定格を備えた 2 チャネル 600V、50mA、車載絶縁スイッチ](#)』、データシート
5. テキサス インスツルメンツ、『[TPSI2140-Q1: 2mA アバランシェ定格を備えた 1200V、50mA、車載絶縁スイッチ](#)』、データシート

商標

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