

# 車載オーディオ用途向けのリアルタイム診断回路の設計

Jared Becker  
Technical Sales Engineer

最新の車内オーディオシステムの設計者は、Class-DアンプICと接続されたスピーカーを監視するために、診断機能を急速に導入しています。主な懸念事項は、衝突や故障などの路上での緊急事態が発生したときに使用されるテレマティクス制御ユニット(TCU)に接続された車内スピーカーです(図1)。スピーカーの短絡または切断をドライバーに検出して通知すると、重大な事象が発生する前にメンテナンスのスケジュールを設定することができます。

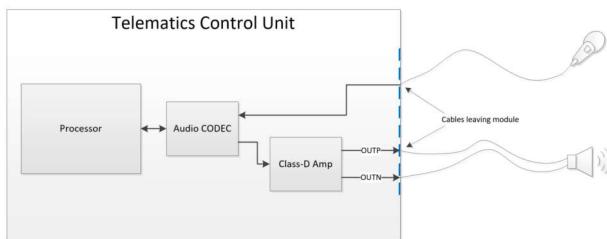


図1. スピーカーの接続を示す Class-D オーディオ アンプを搭載した TCU

## リアルタイム診断 (RTD)

安全のための追加レイヤーとして、一部の自動車メーカーではリアルタイム診断(RTD)を必須としています。従来、Class-Dスピーカ診断機能は、TCUモジュールまたはClass-Dアンプがオンになったときにスピーカーをチェックしますが、それ以降、すべての故障シナリオを監視するわけではありません。RTDは、起動時にスピーカーを監視し、車両の動作中も引き続きそのスピーカーを監視します。この追加監視により、システム障害と通知の間隔が短縮されるだけでなく、長い100マイル(161km)ドライブなどのイベント中にも迅速に通知が行われるようになります。

ただちにドライバーに警告することで、緊急通報スピーカーが故障している間に事故が発生する可能性を最小限に抑えることができます。また、スピーカーの故障が検出された場合に、緊急通話中に、システムが緊急サービスオペレータに警告を送信

することもできます。自動車事故(TCUモジュールとスピーカー間の断線など)の後にスピーカーに故障が発生した場合、システムは、ドライバーが指示を聞くことができないことを緊急オペレータにメッセージで送信することができます。最後の要件として、診断機能が車内に誤ったオーディオを流してはいけません。

Class-Dアンプは、スピーカーの4つの主な故障状態を以下の図に示すように診断できなければなりません。

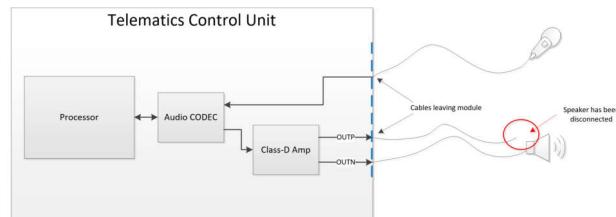
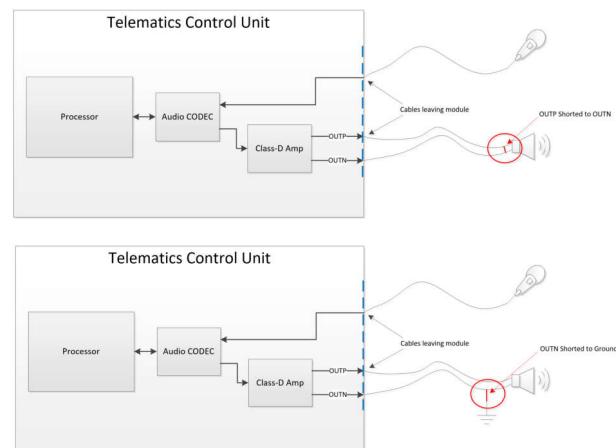
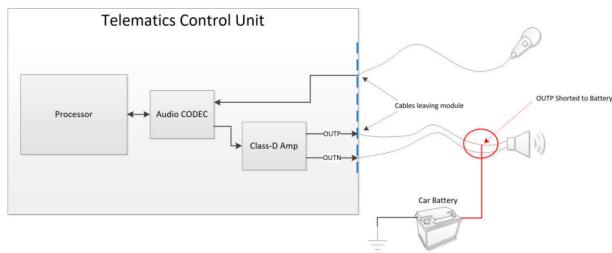


図2. 4つのスピーカー故障状態: スピーカーまたは負荷がオープン (a)、正の出力が負の出力に短絡 (b)、正の出力または負の出力がグランドに短絡 (c)、正の出力または負の出力が車両バッテリに短絡 (d)。





さらに、ホストの介入を必要とせずに故障が除去された場合でも、Class-D アンプは通常動作できる必要があります。たとえば、スピーカーの配線での一時的な短絡を検出できるはずですが、故障状態が解消されてもシステムは通常動作します。

## Class-D アンプの選定

テキサス インスツルメンツの **TAS5431-Q1** Class-D アンプは、車載スピーカーに最大 8W の電力を供給でき、4 つの故障状態から自らと TCU モジュールを保護できるほか、起動時に 4 つの故障タイプすべてを診断できます（「スタンバイ モードのデアサー」とも呼びます）。起動後、アンプは、正または負の出力のグランドへの短絡、正または負の出力の車載バッテリへの短絡、正の出力の負の出力への短絡を、オーディオの再生中にのみ、検出できます。TAS5431-Q1 がこれらの故障状態を診断する方法の詳細については、**TAS5431-Q1 データシートの 7.3.5「負荷診断」**のを参照してください。

**TAS5431-Q1** は起動時にこれらの故障状態を診断することはできますが、完全な RTD 機能を単独で実装することはできません。顕著な欠点は、スタンバイ モードをデアサーした後で、正の出力の負の出力への短絡、またはスピーカー / 負荷のオープンを検出できないことです。表 1 に、**TAS5431-Q1** 診断の標準機能を要約します。

	スタンバイ モードのデアサー	デバイスが動作中（オーディオなし）	デバイスが動作中（オーディオ再生）
正および負の出力がグランドに短絡	可	可	可
正および負の出力がバッテリに短絡	可	可	可
正の出力が負の出力に短絡	可	不可	可
オープン負荷	可	不可	不可

表 1. TAS5431-Q1 RTD サマリ

## RTD の実現

音声が存在しない場合、正の出力から負の出力への短絡を検出するには、オーディオ ソース（コーデックまたはプロセッサ）は音声またはオーディオ信号をベースライン信号にミックスする必要があります（図 3）。たとえば、ベースライン 5Hz 200mV ピーク ツー ピークの信号は、オーディオ周波数範囲（20Hz ~ 20kHz）よりも十分低く、正の出力から負の出力への短絡を検出するのに必要な励起を生成するのに十分な振幅（200mV ピーク ツー ピーク）を備えています。

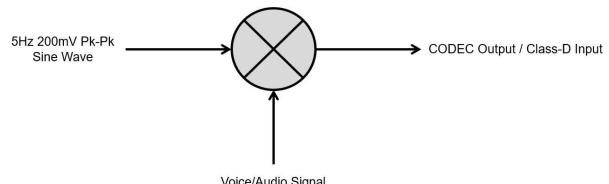


図 3. 200mV ピーク ツー ピークにて 5Hz の帯域外ベースライン信号をミックスすることで、オーディオが存在しない場合の出力短絡が検出できる

**TAS5431-Q1** の入力に低周波のベースライン信号を印加することで、正の出力が負の出力に短絡したときにデバイスが過電流制限に達することが保証されます。**TAS5431-Q1** に組み込まれた診断評価モードでは、正と負の電圧を検出して、レジスタ マップに故障を通知します。この波形を実装するだけで、表 2 に示すように、診断の概要が変更されます。

	スタンバイ モード のデアサー	デバイスが動作 中(オーディオな し)	デバイスが動作 中(オーディオ再 生)
正および負の出 力がグランドに短 絡	可	可	可
正および負の出 力がバッテリに短 絡	可	可	可
正の出力が負の 出力に短絡	可	可	可
オープン負荷	可	不可	不可

電流センス抵抗、電流センスアンプ、抵抗コンデンサ (RC) フィルタ (図 4) を同じ 5Hz、200mV ピーク ツー ピーク ベースライン信号と組み合わせて実装することで、システムはスピーカまたはオープン負荷状態を検出できるようになります。

表2. ベースライン 5Hz 200mV ピーク ツー ピーク 正弦波を Class-D アンプの入力に追加した場合の TAS5431-Q1 RTD の概要

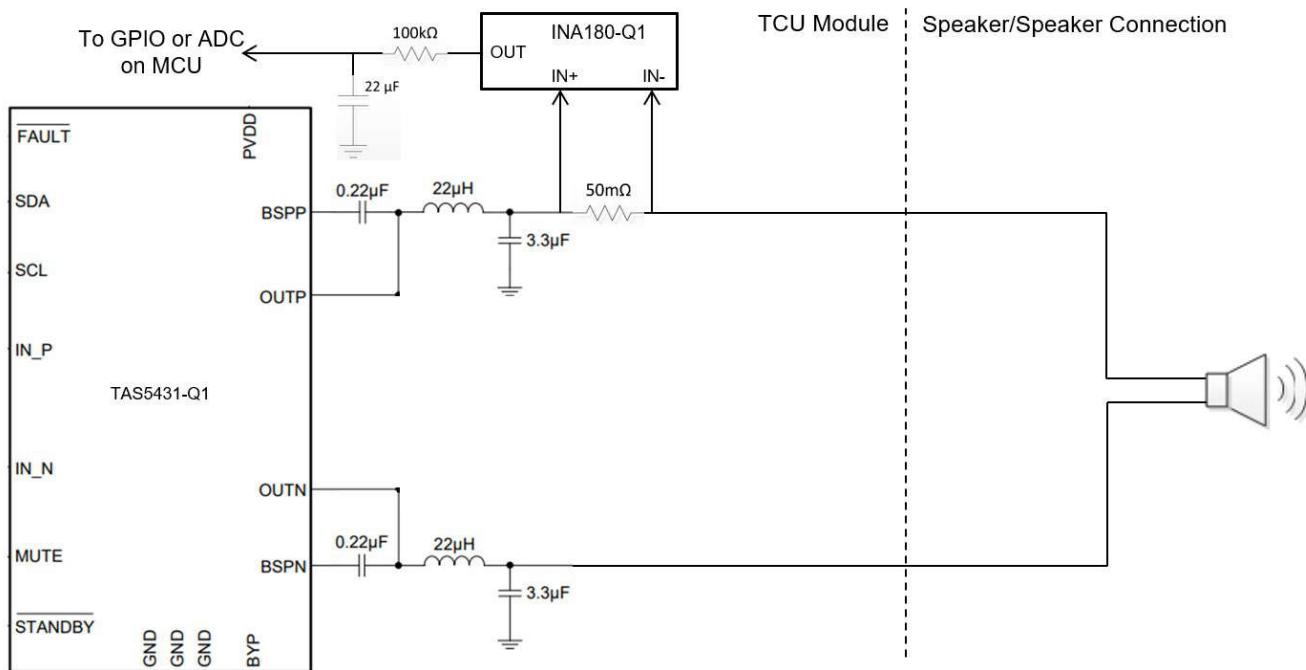


図4. TAS5431-Q1 を使用してシンプルな電流センスアンプ回路を実装することで、オープン回路を検出できる

ベースライン信号は、オーディオが存在するかどうかにかかわらず、50mΩ 電流センス抵抗経由で電流を生成し、**INA180-Q1** が比例電圧に変換します。ベースライン信号はバイポーラ (正と負の両方に変化) ですが、**INA180-Q1** の單方向性は出力電圧を自動的に半波整流し、シンプルな RC フィルタに求められるポスト フィルタリング要件を大幅に低減します。RC フィルタから得られた DC 出力を、分析のためにマ

イコンの汎用入出力または A/D コンバータ (ADC) に供給します (図 5)。オープン負荷故障の発生時、電流センス抵抗への電流が流れなくなり、**INA180-Q1** の出力は強制的に 0V になります。**INA180-Q1** の出力が、事前設定されたスレッショルドを下回ると警告がトリガされ、スピーカが切り離されます (図 6)。

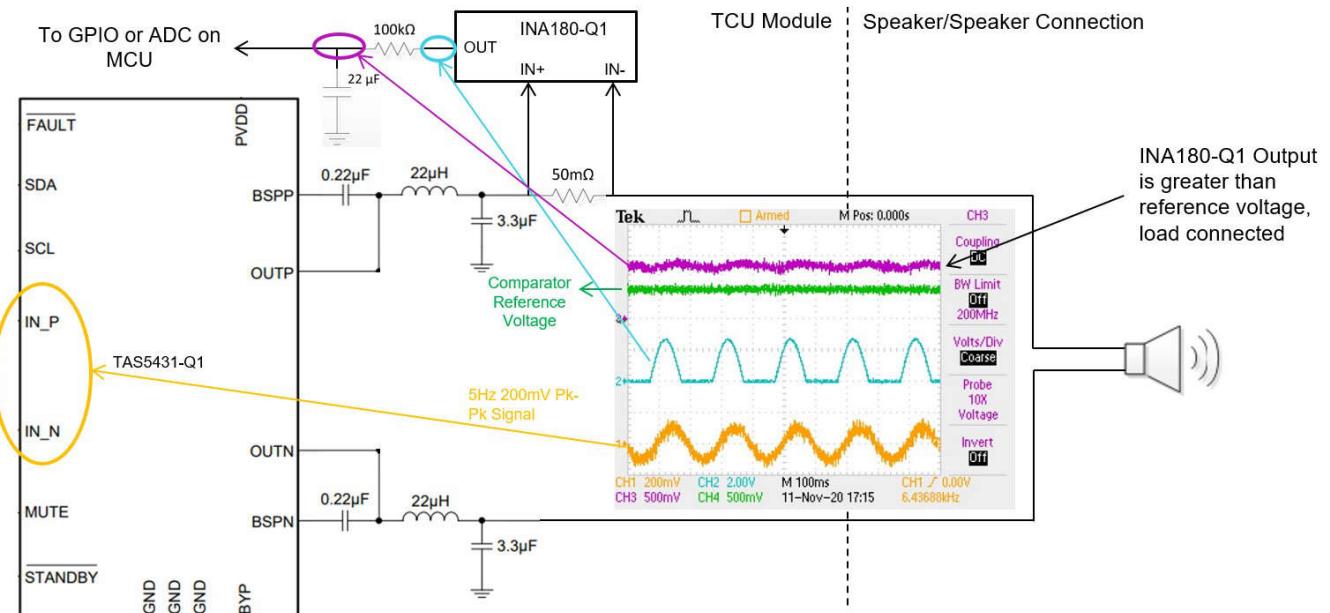


図5. 通常動作時、INA180-Q1 はベースライン信号を測定可能なDC電圧に整流する

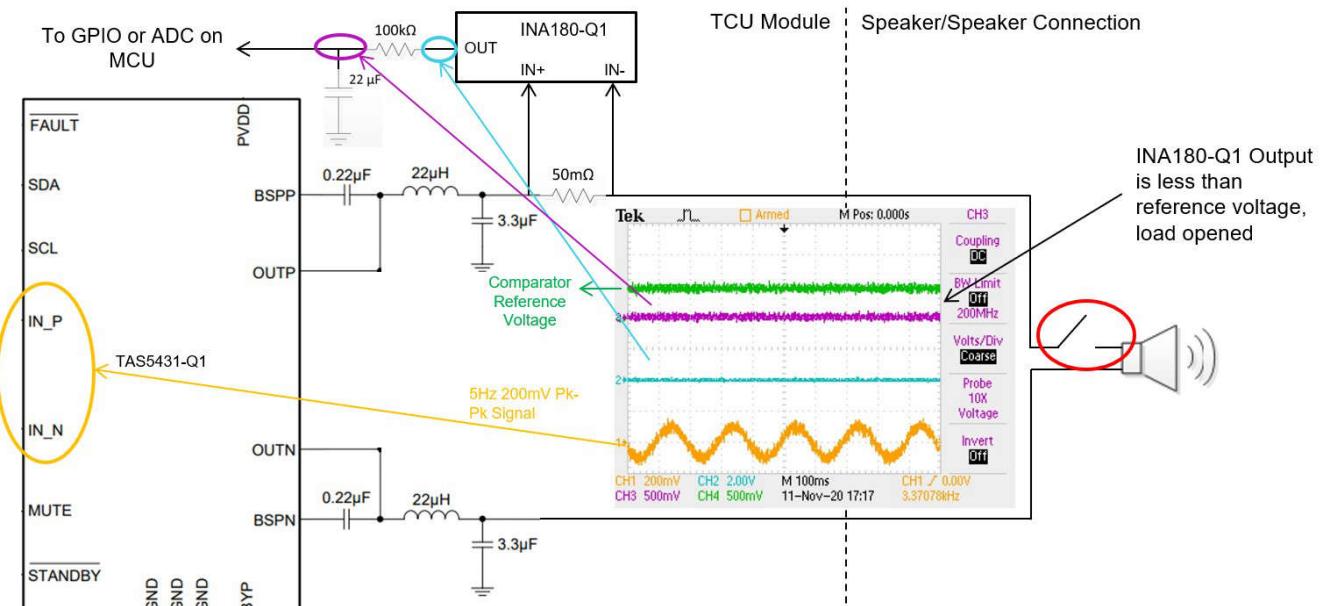


図6. オープン故障状態のとき、INA180-Q1 はゼロ電流を測定し、接続されているコンパレータまたは ADC によって簡単に検出できる

回路(図7)をベースライン信号にオーディオを重ね合わせて最終的に検証すると、通常動作時に意図した結果が得られます。INA180-Q1 は、50mΩ 抵抗を通過する負荷電流を半波整流の電圧に変換します。ポストフィルタリングの結果は 1V の DC 電圧で、これは、事前に選択したスレッショルドよりも高くなります。すべての設計は、目的の負荷特性に合わせて

調整する必要があります。INA180-Q1 には、いくつかの追加ゲインオプションが用意されています。INA180-Q1 は広い同相入力電圧範囲(26V)にも対応しているため、バッテリ短絡故障が発生しても損傷は発生しません。通常はラインに最大 16V を生成します。

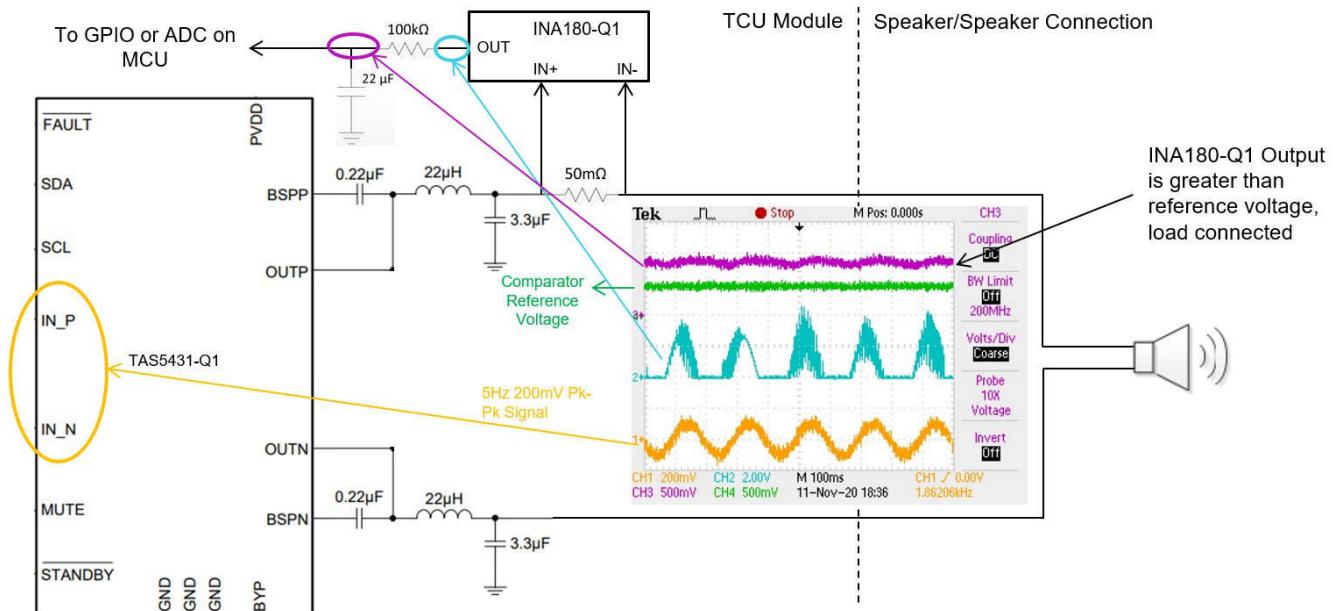


図7. オープン負荷の診断、故障状態なし、オーディオを入力にミックス

TAS5431-Q1 は、回路を追加することで、表 3 に示すように最終的に完全な RTD を実現できます。

	スタンバイモード のデアサー	デバイスが動作 中(オーディオな し)	デバイスが動作 中(オーディオ再 生)
正および負の出 力がグランドに短 絡	可	可	可
正および負の出 力がバッテリに短 絡	可	可	可
正の出力が負の 出力に短絡	可	可	可
オープン負荷	可	可	可

表3. ベースライン 5Hz 200mV ピークツーピーク正弦波と Class-D 入力に回路を追加した場合の TAS5431-Q1 RTD の概要

## 追加の検討事項

TAS5431-Q1 で RTD を実現した後に、設計に関する 2 つの追加の検討事項があります。1 つ目は、故障からの回復です。故障シナリオが発生した場合、Class-D アンプは自身や接続されている回路を損傷から保護すると同時に、故障を診断する必要があります。故障が解消されると、本デバイスは故障が解消されたことを直ちに検出し、オーディオの再生を継続することが想定されています（入力にオーディオが接続されて

いる場合）。TAS5431-Q1 は、229ms の診断サイクルを無期限に繰り返し実行することで、故障からの回復を実現します。故障が解消されると、診断サイクルによって故障が解消されたと判定され、出力段は通常どおりに動作できるようになります。詳細については、TAS5431-Q1 データシートの 7.3.5.1 「負荷診断シーケンス」のセクションを参照してください。RTD を実現するために必要な追加回路は、デバイスが故障から回復して、すぐにオーディオを再生する能力に影響を及ぼすことはありません。

2 つ目の検討事項は、負荷の総インピーダンスに応じて、Class-D アンプで正と負の出力短絡状態の検出が困難になる場合があることです。各 Class-D アンプにはインピーダンススレッショルドがあり、正の出力と負の出力が互いに短絡したことを検出します（スピーカの短絡）。既知の設計では、特にスピーカに近い場所で短絡が発生した時に、正の出力と負の出力間に大きなインピーダンスが生じる場合があり、それは、Class-D アンプの検出スレッショルドを超える可能性があります。車載システムでは、TCU モジュールからスピーカへの（および TCU モジュールに戻す）ケーブルは 10 ~ 12m 程度の長さになる場合があります。図 8 に、考慮する必要のあるさまざまなインピーダンスを示します。

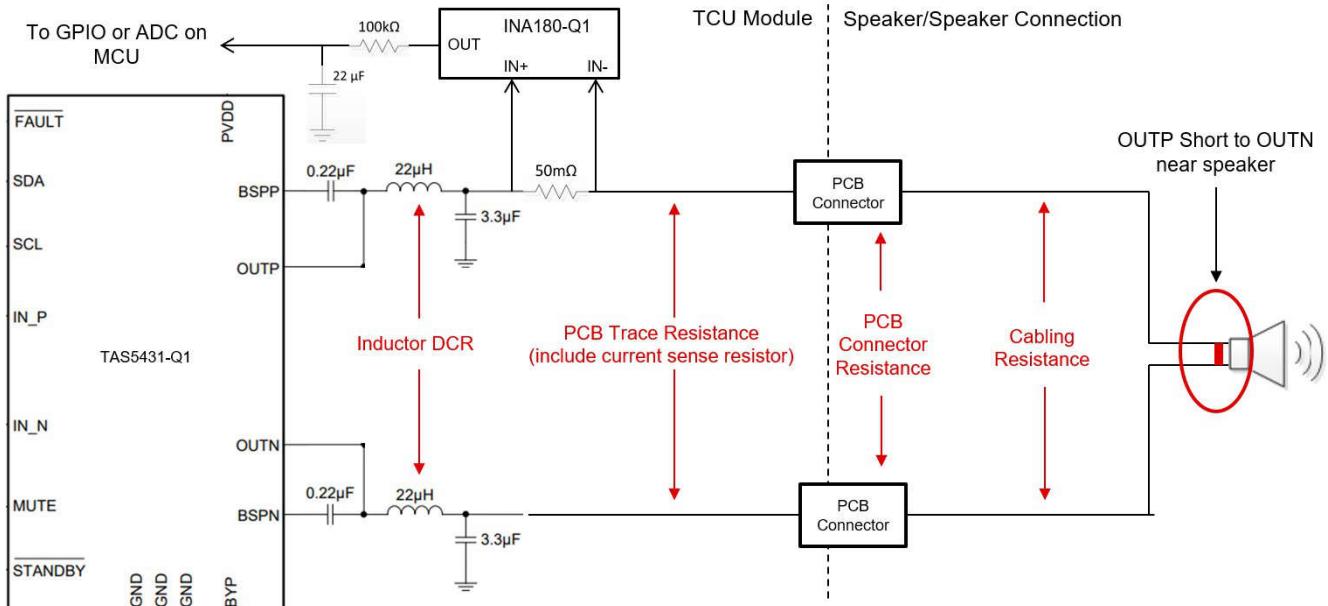


図8. スピーカーの近くで正の出力から負の出力への短絡が発生したときの正と負の出力間のインピーダンスを考慮する

次に、システム内のさまざまなインピーダンスを考慮して、それらを **TAS5431-Q1** の検出スレッショルドと比較する方法についての分析例を紹介します。

式1に示すように、12mの22AWG外部ケーブル(0.053Ω/m)の合計636mΩの抵抗値を想定することから始めます。

$$12 \text{ meters} \times \frac{0.053 \Omega}{\text{meter}} = 636 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

Molex 34826-8160のような標準的な車載用コネクタは、コネクタあたりおよそ20mΩの抵抗値が規定されていて、2個のコネクタの合計で40mΩになります。

インダクタについては、CyntecのVAMV1009AA-220MM2などの車載グレードで、低直流抵抗(DCR)のインダクタを見つけることが大切です。22μHインダクタの最大56mΩの抵抗値は、各コイルに2を掛けて、合計112mΩになります。

最後に、電流センス抵抗の50mΩを追加すると、合計で正の出力と負の出力間の抵抗、約838mΩが得られます。これにはパターン抵抗は含まれません。

**TAS5431-Q1** データシートによれば、短絡検出スレッショルドの仕様は900mΩです。したがって、正の出力と負の出力間の短絡をデバイスが確実に識別するには、2つの出力の間

の抵抗を900mΩ未満にする必要があります。計算された抵抗値の合計838mΩをふまえると、**TAS5431-Q1**の前に約62mΩのパターンインピーダンスがあるので、出力間の短絡を見逃しやすくなります。

900mΩの仕様を満たすには、プリント基板とパターン配線を慎重に設計する必要があります。また、『**LC フィルタの設計**』アプリケーションレポートを使用するなどして、代替の低DCRインダクタを選択するか、電流センス抵抗値を最小化して、ゲイン設定を大きくした**INA180-Q1**を選択するなど、設計の他の要素を微調整することもできます。

## まとめ

RTD は、TCU システムの安全性にとって重要な要素になっています。一連の優れた回路設計手法により、自動車メーカーはこの課題を克服し、TCU モジュールへの RTD の実装を開始することができます。診断機能を追加すると、自動車の安全性が向上し、安全性が向上した自動車は、今後長距離を走行するすべてのドライバーに、より良い体験をもたらすことでしょう。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2025 Texas Instruments Incorporated



JAJT506

## 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默示保証、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、明示的または默示的に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、(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、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