

Design Guide: TIDA-060048

車載緊急通話オーディオ サブシステムの
リファレンス デザイン

説明

車載緊急通報 (eCall) システムは高い効率と診断機能を必要としています。例えば、録音診断、スピーカ診断機能などのオーディオ サブシステムにはユニークな要件が発生するほか、低消費電力も重要な要素となります。このデザインでは、TI 製の車載用 2 チャンネル オーディオコーデックと Class-D オーディオ アンプを使用して eCall アプリケーションを作成する方法を紹介します。このリファレンスデザインでは、TI における設計の重要な設計要素および利点として、低消費電力と高効率、大音量で明瞭なオーディオ出力、内蔵の診断および保護機能についても示します。

リソース

TIDA-060048	デザイン フォルダ
TAC5312-Q1	プロダクト フォルダ
TAS5441-Q1	プロダクト フォルダ
TPD2E007	プロダクト フォルダ
LMR43620-Q1	プロダクト フォルダ
TPS7A52-Q1	プロダクト フォルダ

特長

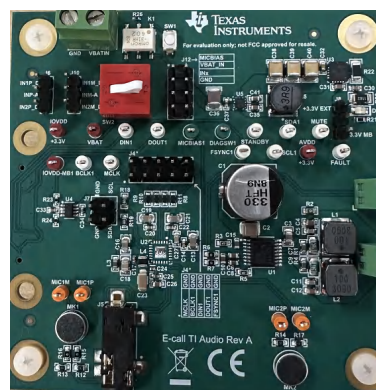
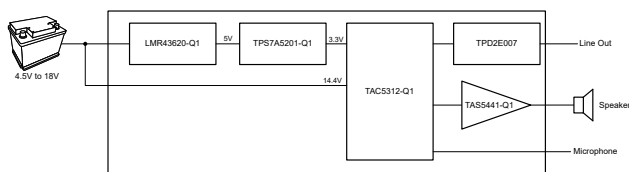
- CISPR 25 Class 5 放射型電磁波の制限に合格
- 4Ω 負荷出力電力経路で 22W
- 入力記録障害の診断機能と保護機能を内蔵
- 内蔵スピーカ負荷診断機能
- TAC5312-Q1 用のレジスタ設定を含む

アプリケーション

- 緊急通話 (eCall)
- テレマティクス制御ユニット
- ドメイン ゲートウェイ



テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。



1 システムの説明

1.1 主なシステム仕様

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	最小	標準値	最大	単位
入力電圧	12 V カーバッテリー	4.5	14.4	40	V
スタンバイ電流	TAS5441-Q1 = スタンバイ モード TAC5312-Q1 = リセット		5		μA
スピーカの負荷		2	4	6	Ω
出力電力	4Ω の負荷			8	W
ライン出力の ESD 保護	IEC 61000-4-2 接触		±8		kV
	IEC 61000-4-2 エアギャップ		±15		
オーディオ入力、オーディオ出力	デジタルオーディオ I ² S 入力、スピーカ出力マイク入力、デジタルオーディオ I ² S 出力				
ESD 保護	ライン出力には ESD 保護が必要です				
EMC 要件、EMI 要件	CISPR 25 クラス 5 放射型電磁波				
動作温度		-40		125	°C
フォーム ファクタ	3.35in × 4.5in				

2 システム概要

世界各国の政府機関は、自動車メーカーに対して、緊急対応時間の短縮と人命救助を目的とした緊急通報 (eCall) システムの設置を求める具体的な法令を制定しています。eCall システムは、衝突時や緊急事態発生時に動作し、緊急サービスの自動通報を支援します。衝突後の車両状態の予測は困難であり、バッテリー接続の外れや乗員の閉じ込め、あるいは騒音の増加などが起こることがあります。このため、eCall モジュールには独立したバッテリー電源が必要であり、地域の法規制に応じて約 10 分間ハンズフリー通話が維持できる必要があります。そのため、このリファレンス デザイン用に選択されているオーディオデバイスは、緊急オペレータとの明瞭な会話と消費電力を低く保つ際の最適な選択肢となります。さらに、TAC5312-Q1 コードブックと TAS5441-Q1 スピーカアンプは、診断機能と保護機能を備えており、設計を最適化してシステムコストを削減できます。

図 2-1 に、パワーマネジメント、マイコン、接続モジュール、オーディオを含むブロック図全体を示します。マイコンが車両の他の部分からの入力を受信することで、事故発生時に通話が開始します。パワーマネジメントは、自動車のメインバッテリー、または eCall モジュールに内蔵された小型バックアップバッテリーで動作します。ワイヤレスモジュールは、通話の際に全二重デジタルオーディオ信号を用いてオーディオサブシステムとのインターフェイスを確立します。オーディオサブシステムは、スピーカを駆動してマイク入力を行います。

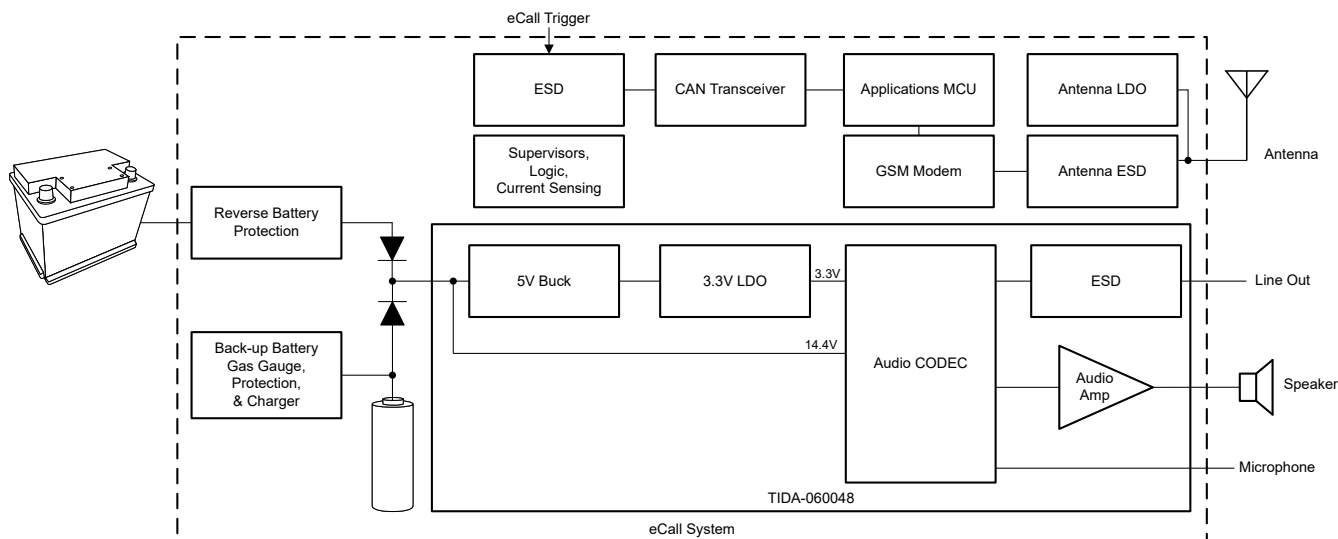


図 2-1. eCall サブシステムのシステム統合

オーディオサブシステムは、Class-D オーディオアンプとオーディオコーデックで構成されています。このオーディオコーデックは、接続モジュールからのデジタルオーディオ入力を、スピーカを駆動する Class-D アンプに接続します。コーデックにより、マイク入力をデジタル信号に変換して接続モジュールに返送する必要があります。

2.1 ブロック図

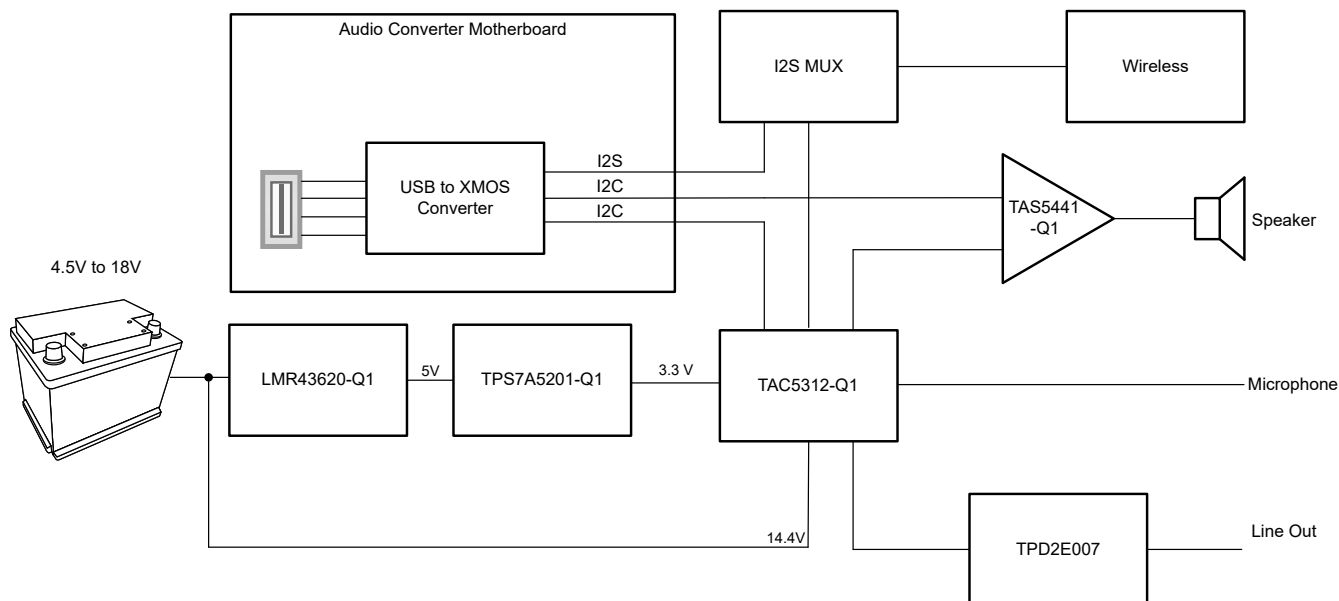


図 2-2. TIDA-060048 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 コーデック設計

車載用オーディオコーデックの設計は、さまざまな過酷な環境で動作する行が必要です。車載システムには非常に多数の電子部品が使用されているため、システムが複雑となり、障害が発生しやすくなります。eCall システムで一般的に使用されるマイクは、ビーム形成、アクティブ ノイズ キャンセル、または音声認識などのアルゴリズムに依存します。このようなアルゴリズムはマイクから得られる信頼性の高いデータに依存しているため、システム内のマイクが故障すれば、信頼性に乏しいデータを処理すれば計算ミスを招きます。このような用途では、マイクはオーバーヘッドコンソール内、エンジン近辺、または車内のさまざまな場所など PCB から離れた場所に配置できます。マイクの遠隔配置により、必要な他の電子機器と接続するワイヤハーネスが形成されます。故障防止のため細心の注意を払う必要がありますが、時間の経過とともにハーネスが劣化することでマイクの接続不良が発生することがあります。

TAC5312-Q1 には、総合診断監視機能が内蔵されており、[セクション 2.3.1](#) に示されるように、ファームウェアで入力の実失敗を判定することでディスクリット検出方式を置換できます。システムはこの情報を用いて応答方法を選択し、システムアルゴリズムを調整してエラーに対応します。標準的な eCall アプリケーションでは、設置、インターフェイス、ピックアップ方向、湿気、防塵のために、電気コンデンサマイク (ECM) の使用が優先されます。これらの ECM マイクは、2V~10V の間で動作するため、大きな電圧スイングが発生することがあります。TAC5312-Q1 は、最大 10V_{RMS} のスイングに直接対処でき、また各入力ピンで DC 結合の不具合診断をサポートし、I²C を介して不具合を報告します。

通常、eCall システムはスペースに制約があるため、効率の最大化に統合型部品を要します。TAC5312-Q1 は 3.3V の単一電源で動作することで、コーデックデータ変換と内蔵昇圧コンバータ経由の高電圧 MICBIAS 電源に対応し、外部部品の数を低減します。

2.2.2 Class-D アンプ

Class-D アンプは、優れた音質でスピーカを規定のオーディオレベルに保てる出力電力を維持しなければなりません。また、高い効率と、EMI と EMC の優れた性能を維持する必要もあります。多くの eCall システムには、スピーカ診断機能と IC 保護回路が必要です。

eCall アプリケーションには高い効率が欠かせないため、Class-D アンプが採用されています。ブリッジ接続負荷を切り替える MOSFET (金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ) により、効率が向上しています。ただし、スイッチングによって他のクラスのアンプよりも多くの電磁放射が発生します。テキサス インストルメンツは BD モードを変調する Class-D アンプ

プを複数発売しており、これがインダクタを流れるリップル電流を低減します。これによって EMC の性能向上と、使用部品の小型化が可能になります。この設計は、CISPR-25 に準拠した放射型電磁波試験を受けています。

衝突後の状態が不明であることから、eCall アプリケーションには診断および保護が必要です。衝突によってスピーカが故障した場合は、その情報がコールセンターに送信されてセンターがスピーカの不具合を認識します。この仕組みは衝突発生前の負荷診断にも用いられ、システムの問題を保守目的でドライバにフィードバックできます。eCall モジュール内では、高電圧イベントにさらされる可能性は低くなりますが、この eCall モジュールから離れるコネクタは危険な状態となります。具体的には、設置、保守、または事故の際、スピーカを eCall モジュールに接続するスピーカケーブルをグランドまたはバッテリーに接続できます。このような状態を出力ラインで維持している間は Class-D アンプは動作できませんが、保護していない場合は、瞬時イベントであっても Class-D アンプが損傷する可能性があります。TAS5441-Q1 にはこのようなイベントに対する保護機能が内蔵されているため、必要となる外付け部品が少なく、デバイスから I²C 経由で問題を報告できます。電源入力の Class-D アンプも損傷することがあります。このアンプは出力スピーカにて数ワットで駆動する必要があるため、バッテリーからオーディオアンプへの直接給電が役立ちます。とはいえ、ほとんどの Class-D アンプには、バッテリーラインで発生しうる一般的なバッテリー条件での耐性がありません。TAS5441-Q1 には、40V のロードダンブに耐える保護機能が内蔵されています。これは、バッテリーからの給電で動作する際に唯一必要な外部保護機能が、バッテリー逆接保護ダイオードであることを意味しています。

2.2.2.1 オーディオフィルタの設計

オーディオ品質の向上と電磁放射の低減のため、TAS5441-Q1 には出力フィルタが必要です。これらの出力フィルタは多くの部品を使用できます。たとえば図 2-3、に同相モード・差動コンデンサ、RC スナバを備えた LC 再構成フィルタを示します。

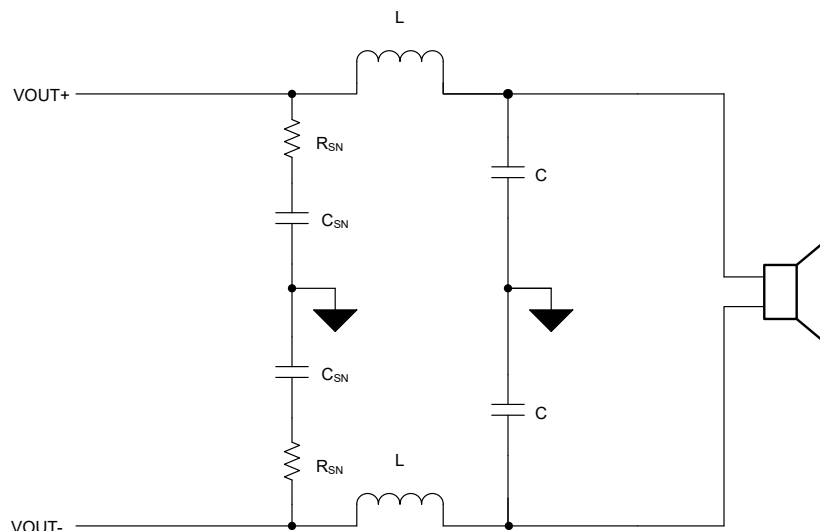


図 2-3. RC スナバを備えた Class-D アンプ LC フィルタ

RC スナバは電磁放射を低減しますが、多くのアプリケーションにスナバは必要ありません。この設計の放射型電磁波試験では、RC スナバは用いられていません。図 2-4 は、RC スナバ回路を用いない出力フィルタを示します。

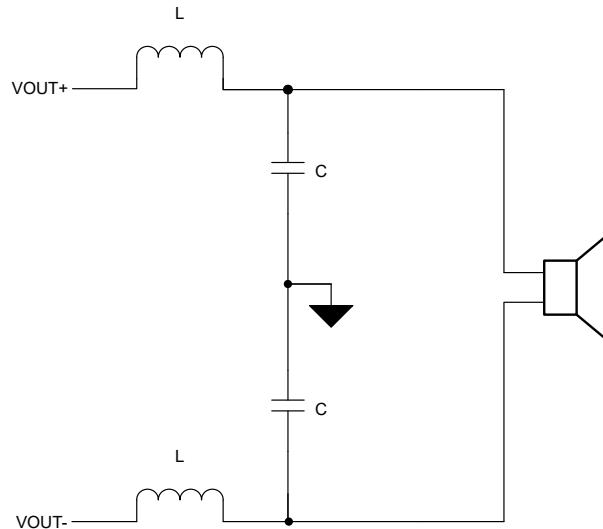


図 2-4. Class-D アンプ LC フィルタ

出力フィルタの設計時には、フィルタを 2 つのシングルエンド出力として用いることを検討してください。そのため、次の設計式では、 R_L は 4Ω ではなく 2Ω と見なされます。2 次バターワースフィルタを採用することで、フラットなパスバンド応答と妥当な鋭いロールオフを得られます。以下の場合、フィルタをしっかりと湿らせてください。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

C と L の式は以下の 2 つの式から導出できます。

$$Q = R_L \times \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2)$$

$$\omega_c^2 = \frac{1}{C \times L} \quad (3)$$

インダクタとコンデンサは、いずれもフィルタのカットオフ周波数を選ぶことで選択します。オーディオ音声アプリケーションの場合、30kHz 以上が妥当な数値です。インダクタンスを選択する式は次のとおりです。

$$L = \frac{R_L \times \sqrt{2}}{\omega_c} \quad (4)$$

$$L = \frac{2\Omega \times \sqrt{2}}{2 \times \pi \times 34\text{kHz}} = 10\mu\text{H} \quad (5)$$

インダクタに関するその他の検討事項として、EMC 性能、飽和電流、低コア損失を向上するシールドがあります。

TAS5441-Q1 過電流遮断保護機能は、2.4A ~ 3.5A です。インダクタの飽和電流に達するとインダクタンスが低下するため、遮断電流同等、またはそれより高い値を飽和レベルとして選択することは選択肢として安全です。この設計で選択したインダクタは VLS6045EX-100M-H であり、磁氣的にシールドされるため DC 抵抗が低く、飽和電流の代表値は 3.9A です。

以下の式を使用してコンデンサを選択します。

$$C = \frac{1}{\omega_c \times R_L \times \sqrt{2}} \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times 34\text{kHz} \times 4 \times \sqrt{2}} = 1.66\mu\text{F} \quad (7)$$

コンデンサを少し上げ、カットオフ周波数をわずかに下げることによって EMC 性能を向上できます。この設計では、 $2.2\mu\text{F}$ のコンデンサを使用します。その結果、図 2-5 に周波数応答が示されます。

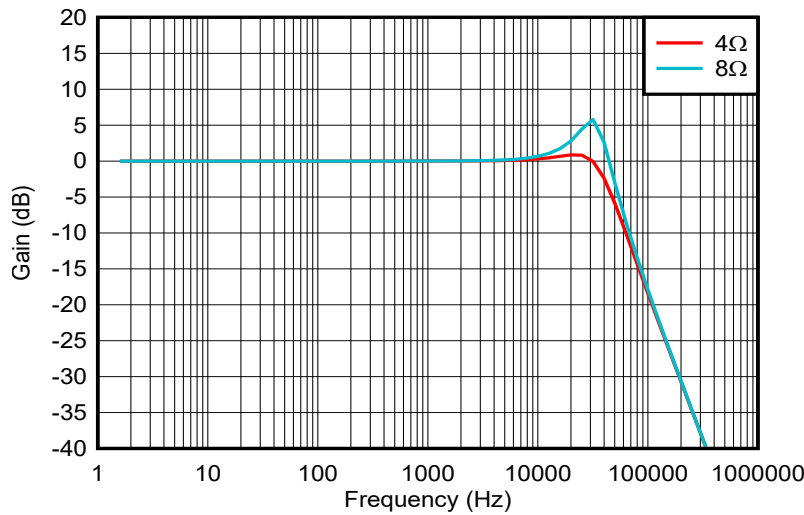


図 2-5. LC フィルタの周波数応答: $L = 10\mu\text{H}$ 、 $C = 2.2\mu\text{F}$ 、 $R = 4\Omega$ 、 8Ω BTL

この変更は EMC の性能に貢献しますが、ゲインは 1dB ではなく 20kHz ~ 2dB に低下します。必ず、オーディオ品質と EMC 試験の両立を考慮してください。

EMC 性能の向上のため RC スナバを再度追加できますが、この設計ではそれらなしで試験されています。

この設計式を詳細に導くためには、[LC フィルタ設計アプリケーションレポート](#)を参照してください。

2.2.3 電力設計

電圧レギュレータは、3.3V の電源レールから最大 2A の電流を供給するように選定されています。TAC5312-Q1 は AVDD、IOVDD、BSTVDD、および BSTSW ピン用の 3.3V 単一電源で動作するように最適化されています。AVDD ピンと IOVDD ピンは、50mA よりも電流を低く抑えます。BSTVDD は内部昇圧が不連続モードで動作することによるスイッチング電流であるため、結果として、250mA の平均消費電流と 1.3A のピーク電流消費が発生します。TAC5312-Q1 の VBATIN ピンは入力の不具合診断用のリファレンス電圧であり、電流を引き込みません。

この 2 つのレギュレータに必要な外付け部品は、入力および出力コンデンサのみです。入力コンデンサは過渡性能を改善し、ノイズ除去を改善できます。出力コンデンサは、電圧の安定用に不可欠です。

LMR43620-Q1 デバイスは、リップル電流を低減し、スイッチングノイズを周囲回路から分離するため、少なくとも $4.7\mu\text{F}$ の入力コンデンサの使用を推奨します。電圧定格は最大入力よりも高くなければならないため、50V のコンデンサが使用されています。過渡応答の改善、および 5V 出力の安定性向上のためには、3 個の $22\mu\text{F}$ コンデンサを推奨します。入力インピーダンスを最小化するため、TPS7A52-Q1 デバイスには $10\mu\text{F}$ 以上の入力コンデンサの使用を推奨します。この設計では、LMR43620-Q1 の後の出力コンデンサを TPS7A52-Q1 の入力に接続します。この設計の場合、出力コンデンサの最小値は $10\mu\text{F}$ です。

2.2.4 EMC、EMI 設計の検討事項

レイアウトは、必ず EMC を考慮して設計してください。詳細については「[セクション 4.1.3](#)」を参照。LMR43620-Q1 のスイッチング周波数は 200kHz から 2.2MHz の間で調整できます。この設計では、スイッチング周波数を 2.2MHz に設定し、EMI を低減して AM 帯域への干渉を回避しています。また、TAS5441-Q1 のスイッチング周波数は 400kHz または 500kHz にプログラミング可能です。スイッチング周波数を変更すると、排出場所を変更できます。システム内の複数のデバイスが同じ周波数で動作していると、放射型電磁波制限に合格しにくくなります。

2.3 主な使用製品

2.3.1 TAC5312-Q1

TAC5312-Q1 は、10V_{RMS} 差動入力、104dB ステレオ ADC、2V_{RMS} 114dB ステレオ DAC チャンネルを備えた高性能ステレオ コーデックです。TAC5312-Q1 は、差動/シングルエンド入出力、ADC チャンネルのマイク/ライン入力の両方、入出力の故障診断、DAC 出力でのライン出力負荷とヘッドホン負荷のいずれかなど、多様な入出力構成をサポートしています。このようなパラメータにより、TAC5312-Q1 は、インフォテインメントとクラスファイールドのさまざまなオーディオ アプリケーションで、マイコンとスピーカ アンプの間のインターフェイスとして動作します。

ステレオオーディオコーデックは、8kHz ~ 768kHz のサンプリング レートをサポートし、プログラマブルな高電圧マイク バイアスを内蔵しており、入力診断回路による直結入力が可能です。このデバイスには、入出力接続の状態を検出および判定するよう設計された診断回路が組み込まれています。このデバイスは、以下の診断をサポートしています。

- グランドへの入力短絡
- MICBIAS への入力短絡
- 入力開回路
- 入力ピンが互いに短絡
- 入力過電圧の検出
- VBAT への入力短絡
- 出力過電流の検出
- 出力バーチャルグラウンドの検出

このコーデックはまた、デジタル音量制御、低ジッタの位相ロック ループ (PLL)、プログラム可能なハイパス フィルタ (HPF)、プログラム可能な EQ およびバイクワッド フィルタ、低レイテンシのフィルタ モードとセカンダリオーディオシリアル インターフェイス (ASI) を内蔵しています。シリアル制御バスは I²C および SPI プロトコルをサポートし、シリアル オーディオ データ バスは I²S、左揃え / 右揃えの、または時分割マルチプレクシング (TDM) モードにプログラムできます。

アナログ信号処理とデジタル信号処理のどちらも必要ない場合、デバイスを特別なアナログ信号バイパス モードに設定できます。このモードでは、バイパス動作中にほとんどのデバイスがパワーダウンするため、消費電力が大幅に削減されます。これらの高性能な機能は、3.3V の単一電源で動作するため、TAC5312-Q1 は、スペースに制約のある車載用システムに最適な選択肢です。

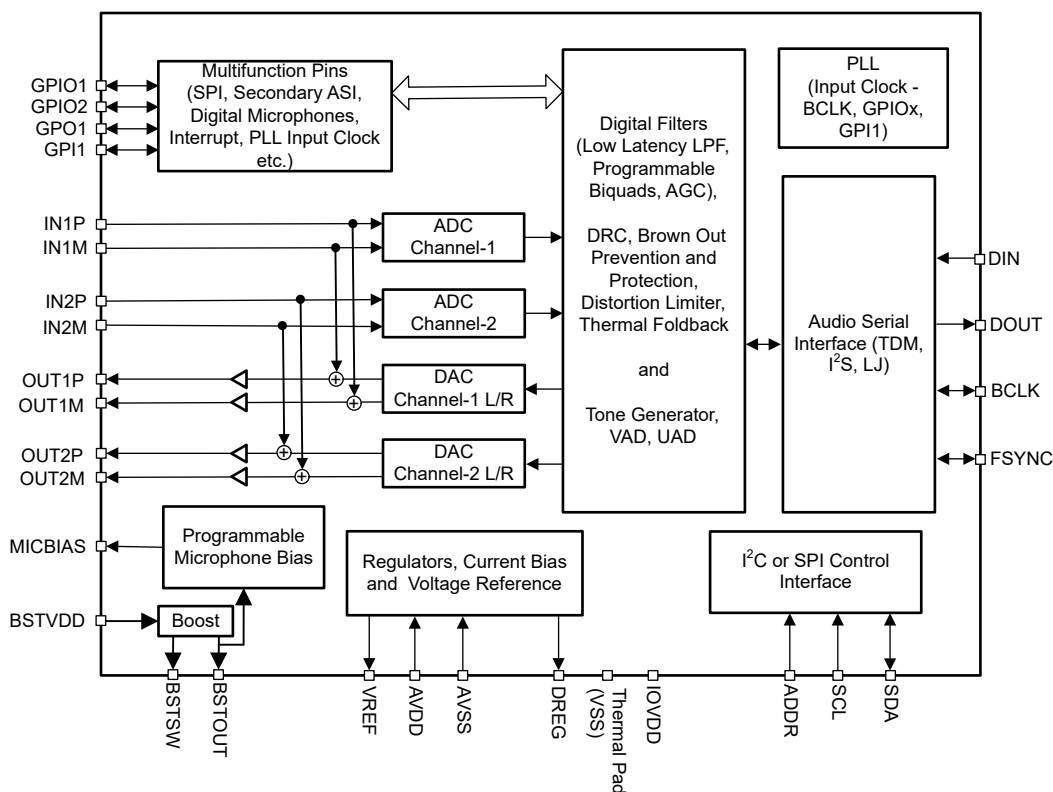


図 2-6. TAC5312-Q1 の機能ブロック図

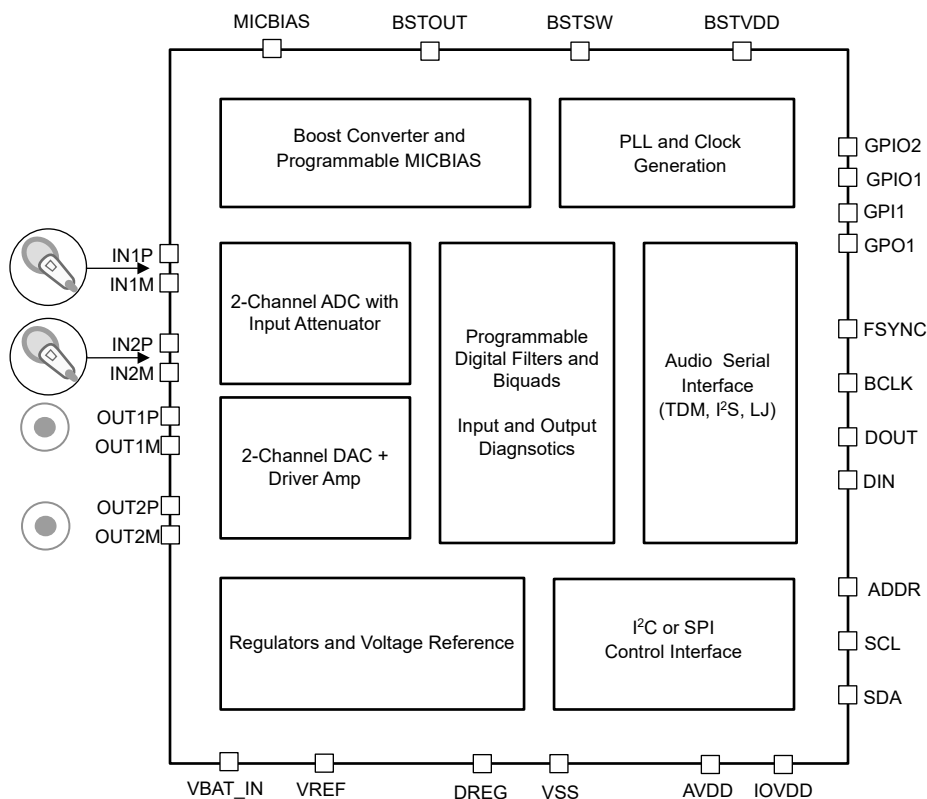


図 2-7. TAC5312-Q1 の簡略ブロック図

2.3.2 TAS5441-Q1

TAS5441-Q1 は、車載用緊急通報 (eCall)、テレマティクス、インストルメント クラスタ、インフォテインメント アプリケーションに最適な選択となるモノラル デジタル オーディオ アンプです。このデバイスは、DC 14.4V_{dc} の車載用バッテリーから 4Ω 負荷へ THD+N 10% 未満で最大 22W を供給できます。広い動作電圧範囲と優れた効率により、アイドリング ストップ システムのサポートや必要に応じたバックアップ バッテリからの駆動の優れた選択肢となります。負荷ダンピング保護が搭載されているため、外付け電圧クランプのコストとサイズを減らすことができ、オンボードの負荷診断機能により I2C インターフェイス経由でスピーカーの状態が報告されます。この設計には、テキサス インストルメンツが開発した、超高効率の **Class-D** 技術と、自動車業界向けに追加された機能が採用されています。この技術を使用すると、電気系システム内での消費電力と発熱とピーク電流の低減が可能。従来の **Class-AB** 設計よりも小型で重量の低いオーディオサウンドシステム設計となっています。このデバイスには、出力接続の状態を検出および判定するよう設計された負荷診断回路が組み込まれています。このデバイスは、以下の診断をサポートしています。

- GND への短絡
- PVDD への短絡
- 負荷への短絡
- 開放負荷

このデバイスは、I²C レジスタ読み取りにより、システムへの短絡または開放状態の存在を通知します。STANDBY がアサートされたとき、またはデバイスが DC 検出、過電流、過電圧、低電圧、過熱などの不具合状態にあるときに負荷診断機能が作動します。この試験中、出力は Hi-Z 状態になります。このデバイスは、出力が GND への短絡、PVDD への短絡、開放負荷、負荷短絡のいずれであるかを決定します。負荷診断機能は出力をバイアスするため、適切に機能させるためには容量を制限する必要があります。負荷診断試験の所要時間は約 229 ミリ秒です。故障発生の際、またはコンデンサから GND への出力が大きい場合、チェック段階が最大 5 回繰り返されます。

開放負荷を検出すると、出力は引き続き動作します。他の故障状態が検出されると出力が Hi-Z 状態になり、故障状態が解消されるまで負荷を継続的にチェックします。通常の出条件を検出すると、オーディオが出力されます。負荷診断は、他の過電圧イベントの 2 回に 1 回の頻度で実行されます。開放負荷診断には、I2C 通知のみを使用します。他のすべての故障には、I2C および FAULT ピンがアサートされます。

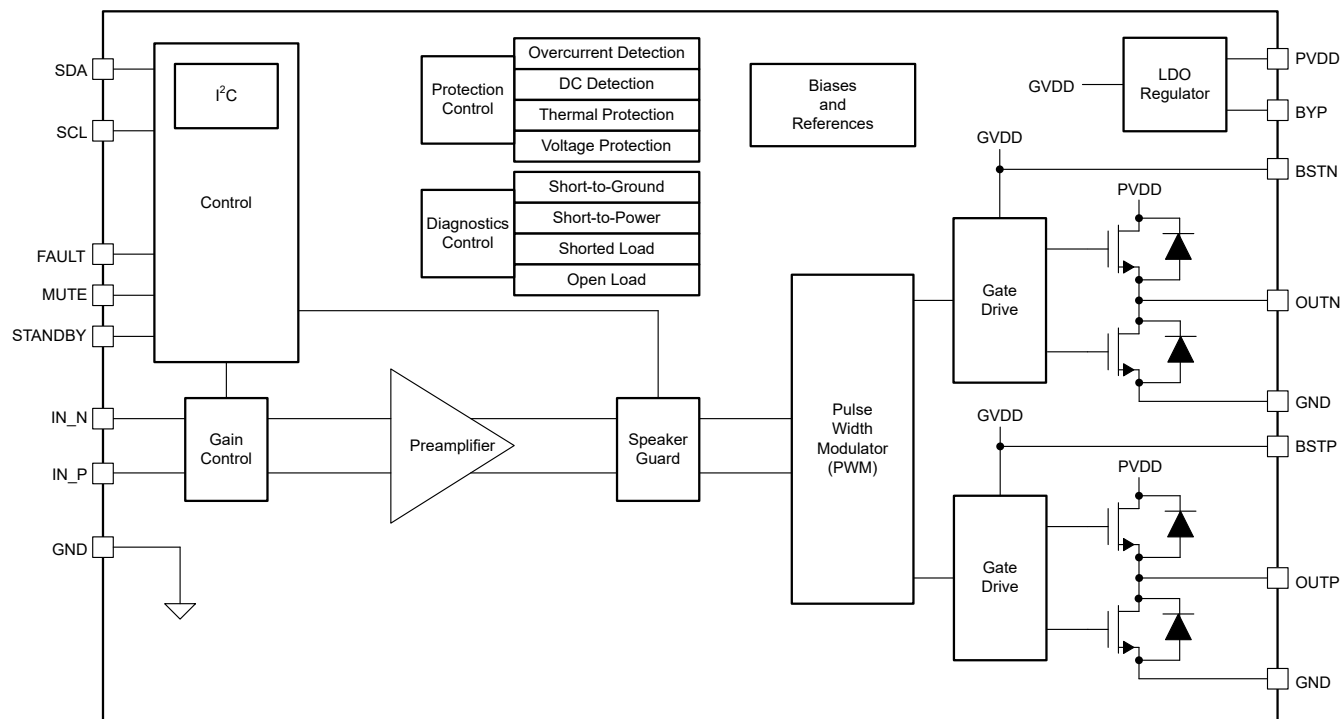


図 2-8. TAS5441-Q1 の機能ブロック図

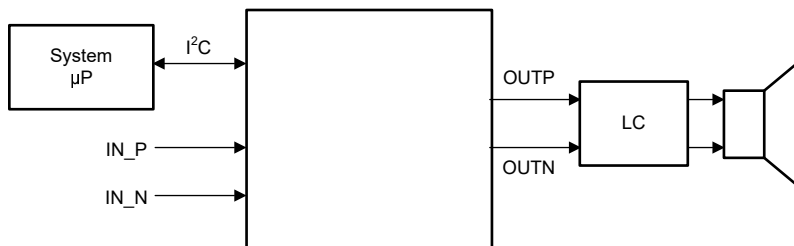


図 2-9. TAS5411-Q1 の概略ブロック図

2.3.3 LMR43620-Q1

LMR43620-Q1 高電圧リニアレギュレータは、3V～36V の入力電圧範囲で動作します。軽負荷時の静止電流がわずか 2.5μA (標準値) および超低 EMI に最適化された本デバイスは、特に車載アプリケーションのスタンバイ制御マイコンシステム向けに設計されています。このデバイスの出力電流能力は 1A または 2A で、3.3V、5V の固定出力電圧、または可変電圧レベルに対応します。このデバイスは、お客様の要件に合わせて調整可能な 2.2MHz スイッチング周波数、サーマルシャットダウン、過熱および過電流条件での損傷防止用の短絡保護機能を備えています。

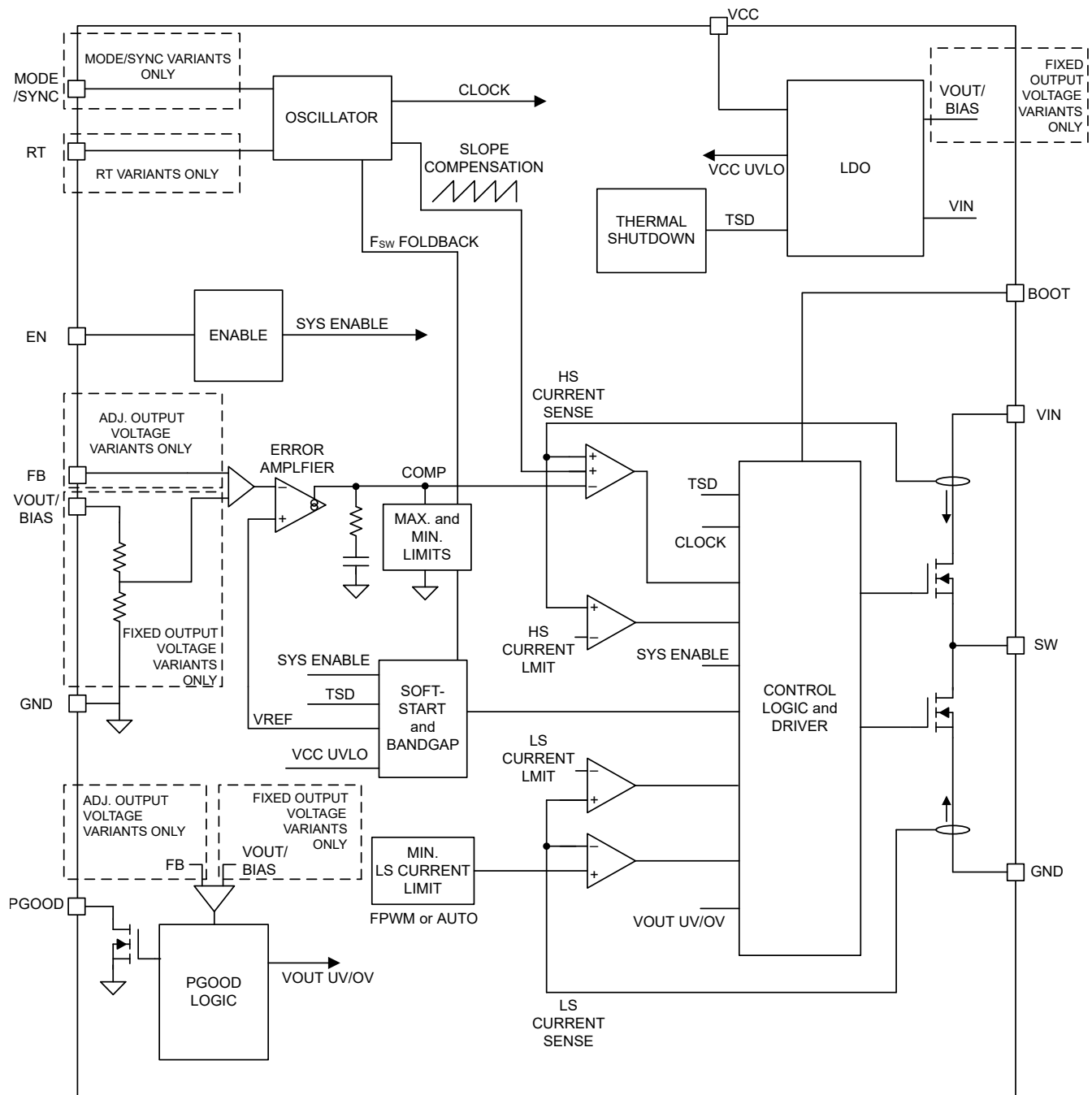


図 2-10. LMR43620-Q1 の機能図

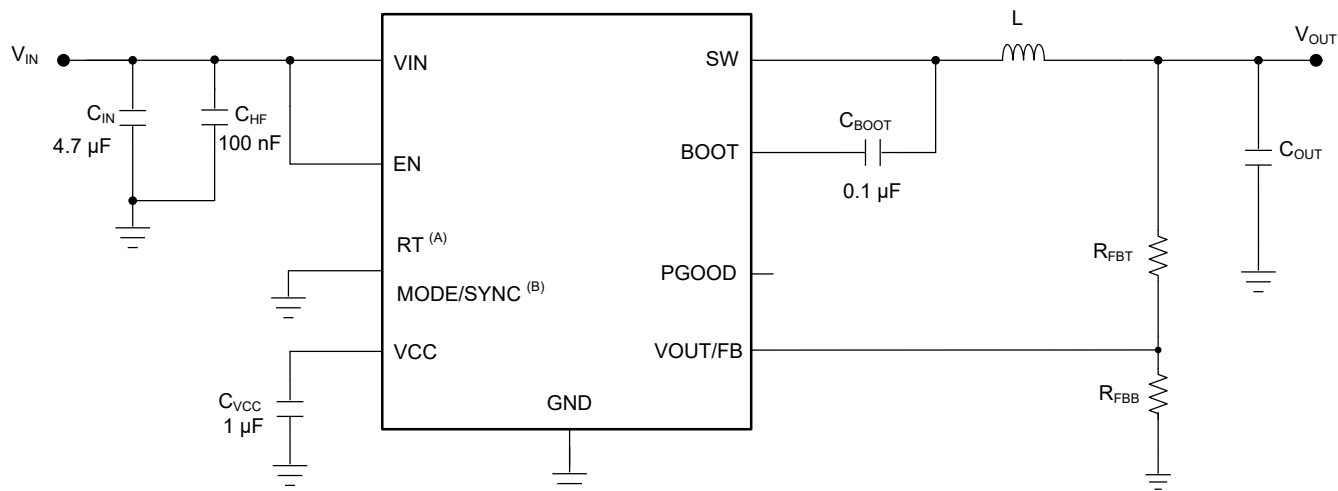


図 2-11. LMR43620-Q1 の概略回路図

2.3.4 TPS7A52-Q1

TPS7A52 シリーズのリニアレギュレータは、消費電力が重要なアプリケーション用に設計された、低ノイズデバイスです。高精度のバンドギャップとエラーアンプにより、全温度範囲で 1% の精度を実現しています。これらのデバイスは、サーマルシャットダウン、電流制限、逆電流保護機能により安全性が強化されています。シャットダウンモードは、EN ピンを Low にすることでイネーブルになります。このモードでのシャットダウン電流は、25nA (標準値) に低下します。TPS709 シリーズは、VQFN (20) ピンのウェットパブルフラック付きリードレスパッケージで供給されます。

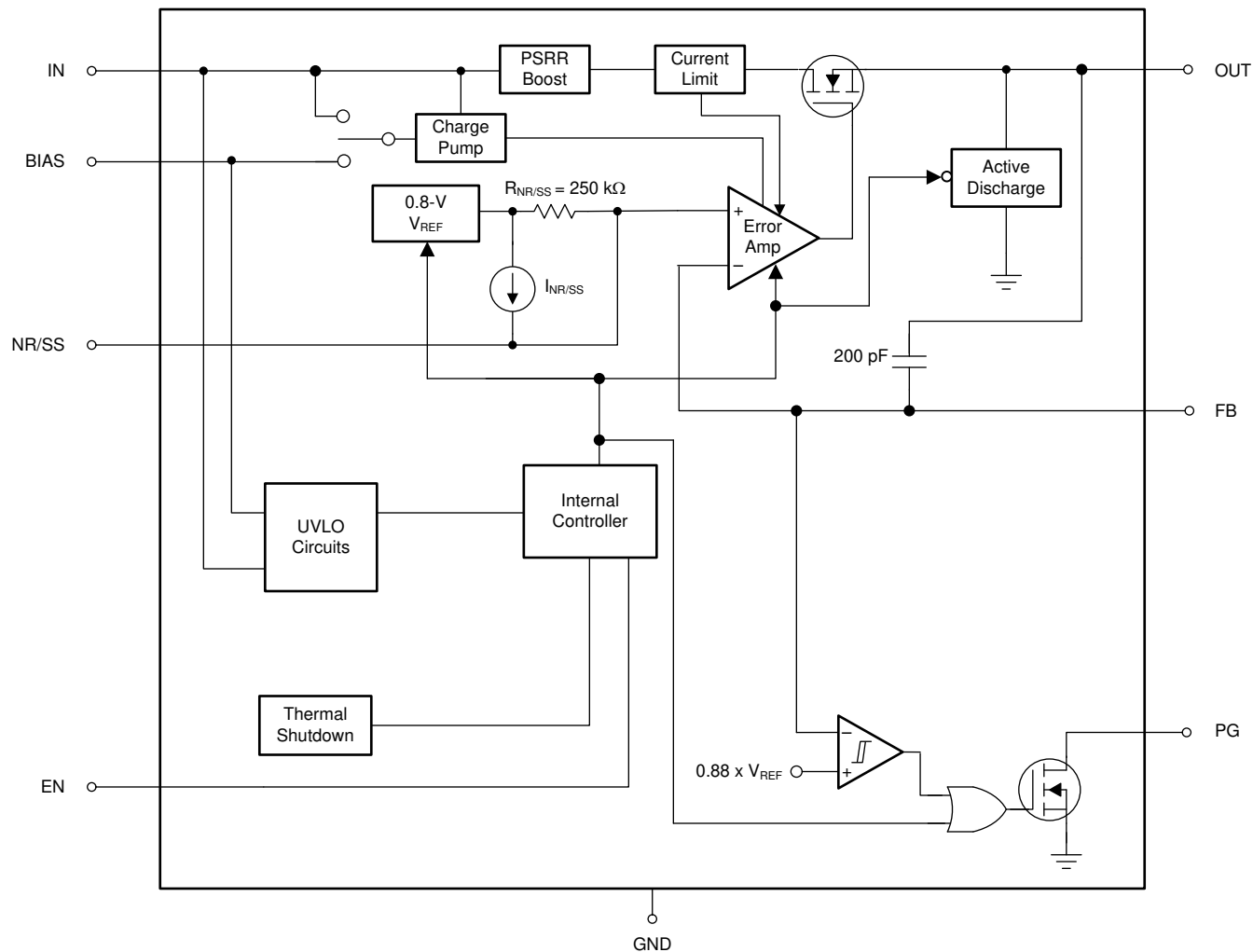


図 2-12. TPS709-Q1 の機能ブロック図

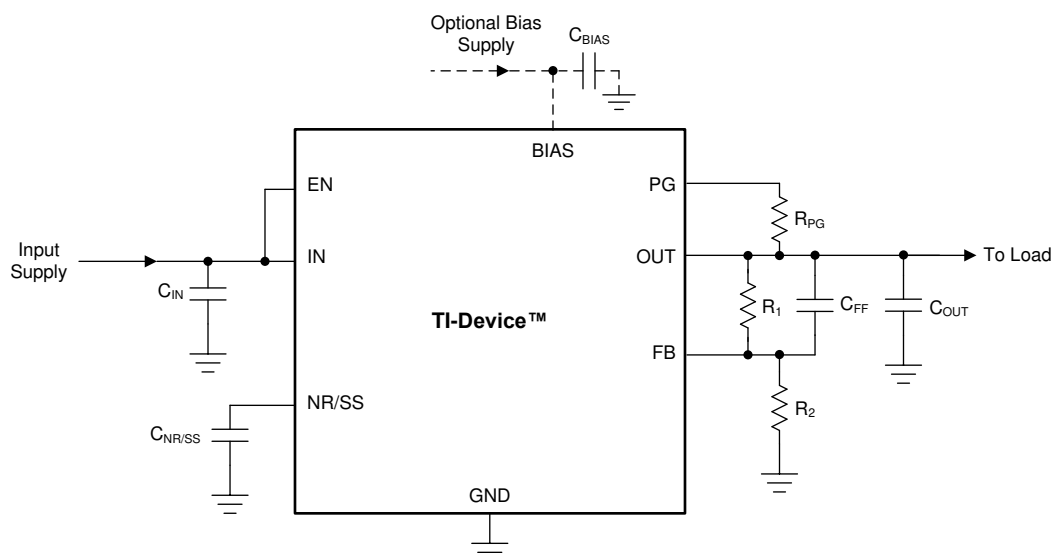


図 2-13. TPS709-Q1 の概略回路図

2.3.5 TPD2E007

このデバイスは、さまざまなポータブルおよび産業用アプリケーション向けにシステムレベルの ESD 保護を提供するように設計された、過渡電圧サプレッサ (TVS) ベースの静電気放電 (ESD) 設計デバイスです。双方向ダイオード アレイにより、信号の整合性を損なうことなく、AC 結合または負方向のデータ伝送 (オーディオ インターフェイス、LVDS、RS-485、RS-232 など) を可能にします。このデバイスは IEC 61000-4-2 (レベル 4) の ESD 保護を上回っており、コネクタの近くに配置された場合、内部 IC に対するシステムレベルの ESD 保護を提供するための最善に選択肢です。

TPD2E007 は、4 バンプ PicoStar™ パッケージおよび 3 ピン SOT (DGK) パッケージで提供されます。パッケージ高さわずか 0.15mm (最大) の PicoStar パッケージ (YFM) は、パッケージの高さが特に重視される超省スペース アプリケーションに最適です。PicoStar パッケージは、組込みプリント基板 (PCB) ボード アプリケーションや表面実装アプリケーションのいずれにも使用できます。業界標準の SOT パッケージは、従来型設計においてシンプルなボードレイアウト オプションを提供します。

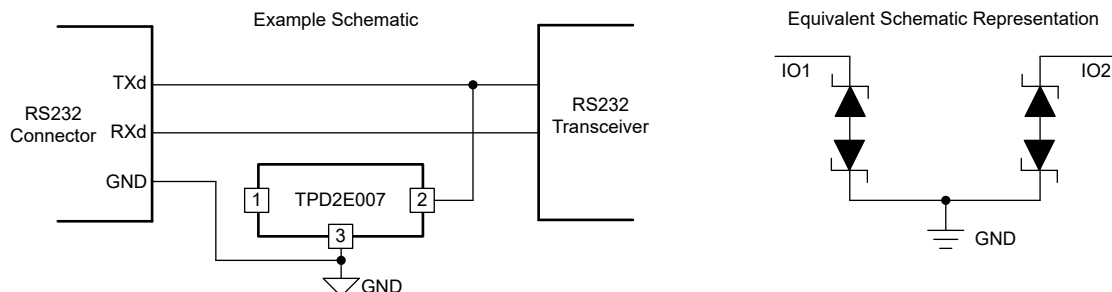


図 2-14. TPD2E007 の概略回路図

3 ハードウェア、テスト要件、およびテスト結果

3.1 ハードウェア要件

3.1.1 ボードの接続

このハードウェア設計には、前述のブロックと、I²C コマンドを TAS5441-Q1 および TAC312-Q1 に送信し、入力診断監視用の AC-MB が含まれます。最終的なシステムでは、AC-MB コントローラを車載対応マイコンに置換します。図 3-1 には、AC-MB を使用した設計のブロック図が示されています。この設計の評価は I²C バスの使用のみでできるため、任意の I²C コントローラを使用できます。

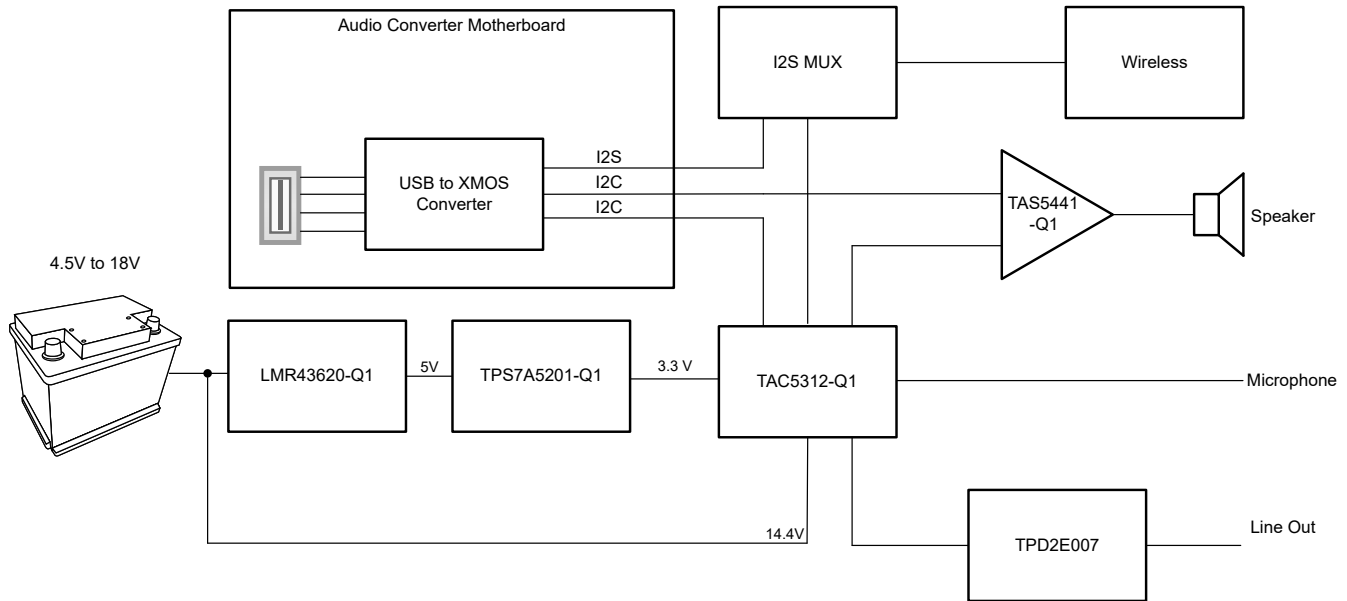


図 3-1. TIDA-060048 ブロック全体図

表 3-1. コネクタ

記号	名称	説明
J1	スピーカ出力	J1 のピン 1 とピン 2 を通ってスピーカ負荷を接続します
J2	電源入力	電源入力 (5V~18V)
J3	コーデックライン出力	J3 のピン 1 とピン 2 を通ってマイコンまたはスピーカアンプに直接接続します
J4	I ² S バス	MCLK、BCLK、FSYNC、DIN、DOUT の I ² S バス接続
J5	外部マイク入力	外部マイクを使用するには、R15 と R16 を取り外します
J6	診断の記録 (評価のみ)	INxP 診断テストを実施する際は、J6 ピン 1 とピン 2、またはピン 2 とピン 3 にジャンパを配置します
J7	I ² C	外部 I ² C 制御には SCL と SDA ラインを直接接続します
J8	電源ソース	VBAT から 3.3V 電源を取得するためのジャンパをピン 1 とピン 2 に配置します。AC-MB から 3.3V 電源を取得するためのジャンパをピン 2 とピン 3 に配置します
J9	AC-MB (評価のみ)	ここに AC-MB を接続します
J10	診断の記録 (評価のみ)	INxM 診断テストを実施する際は、J10 ピン 1 とピン 2、またはピン 2 とピン 3 にジャンパを配置します
J12	診断 (評価のみ)	位置 1 - INx が MICBIAS に短絡、位置 2 - INx が VBAT に短絡 位置 3 - 入力同士が互いに短絡、位置 4 - INx が GND に短絡
SW1	診断トリガ (評価のみ)	スイッチを押して、J12 故障をトリガします
SW2	診断スイッチ (評価のみ)	左位置は J6 が有効、右位置は J10 が有効です

3.1.2 ボードの構成

この設計では、車載マイク(MK1)または外部マイク(J4)のいずれかを使用できます。外付けマイクを使用している場合は、R15 と R16 をボードから取り外します。マイク入力の回路図を、[図 3-2](#) に示します。

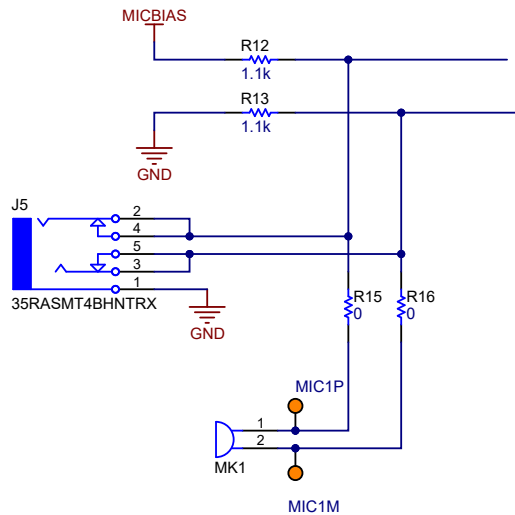


図 3-2. マイクロ入力構成の回路図

3.2 ソフトウェア要件

TAX5xxx-Q1 GUI は、I2C コマンド送信用です。スクリプトの形式は以下のとおりです:

R/W I2C Address Register Address Data

3.2.1 ベンチ試験用ファームウェア

以下の I2C コマンドは、[セクション 2.2.1](#) に示す信号路用に TAC5312-Q1 を構成する方法を示しています。

```
##### Record DC-Couple Differential IN1-IN2 path, Playback LINEOUT #####
# Target Mode, TDM, 32-bit
# Primary ASI only, multiple of 48KHz Sampling
### Initialization and Record Path ###
w a0 00 00 # Set page 0
w a0 01 01 # Software Reset
w a0 02 09 # Wake up with AVDD > 2v and all VDDIO level
w a0 10 50 # Configure DOUT as Primary ASI (PASI) DOUT
w a0 11 80 # Enable PASI DIN
w a0 19 00 # 1 data input and 1 data output for PASI
w a0 1a 30 # PASI TDM, 32 bit format
w a0 1e 20 # PASI Ch1 on slot 0
w a0 1f 21 # PASI Ch2 on slot 1
w a0 00 01 # Set page 1
w a0 73 D0 # auto device, set MICBIAS = 9V
w a0 00 00 # Set page 0
w a0 50 04 # Ch1 diff input, fixed 33.3Kohm, 10Vrms, dc-coupled
w a0 55 04 # Ch2 diff input, fixed 33.3Kohm, 10Vrms, dc-coupled
### Playback Path ###
w a0 28 20 # PASI DIN Ch1 on TDM slot 0
w a0 29 21 # PASI DIN Ch2 on TDM slot 1
w a0 64 20 # Configure OUT1P/M as differential from DAC1
w a0 65 20 # Configure OUT1P LINEOUT 0dB audio band
w a0 66 20 # Configure OUT1M LINEOUT 0dB 2Vrms Differential
w a0 6b 20 # Configure OUT2P/M as differential from DAC2
w a0 6c 20 # Configure OUT2P LINEOUT 0dB audio band
w a0 6d 20 # Configure OUT2M LINEOUT 0dB 2Vrms Differential
#####

w a0 76 ff # Enable Input and Output channels
w a0 78 e0 # Power up ADC, DAC and MICBIAS
```

3.3 テスト設定

装置:

- オーディオ精度- APX555 および PSI
- 電源 - 4.5V~18V、3A
- 4Ω の負荷
- マルチメータ 2 台

ベンチテスト設定:

- PVDD = 14.4 V
- 4Ω の負荷

CISPR 25、放射エミッション、テスト設定。

- PVDD = 14.4 V
- 4Ω 負荷全体で 10W 出力
- CISPR 25 クラス 5 放射型電磁波設定

3.4 テスト結果

3.4.1 オーディオ性能

THD+N(全高調波歪み+ノイズ)は、非常に優れた正弦波の測定値です。1kHz の正弦波は、高精度オーディオ装置によって生成され、I²S 経由で TAC5312-Q1 に送信されます。オーディオ精度は、4Ω 負荷全体でアナログ信号の THD+N を測定します。図 3-3 には、負荷全体にわたる出力電力と THD+N との関係を示されています。

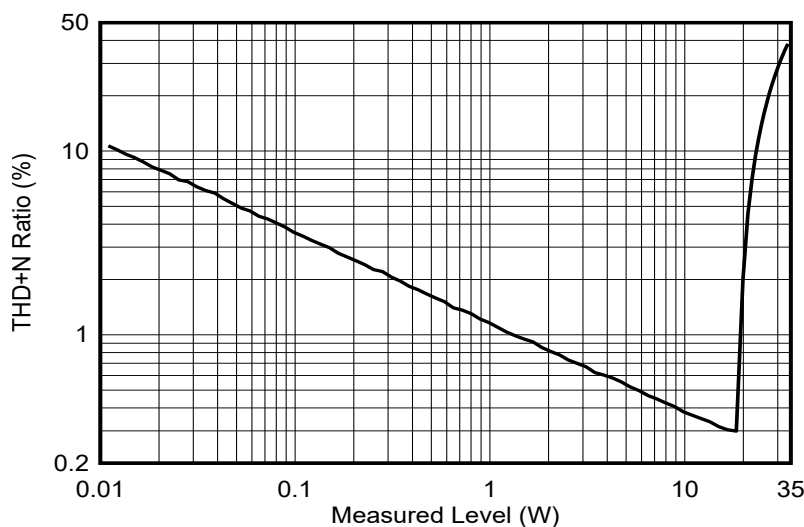


図 3-3. THD+N と出力電力との対比、4Ω 負荷、PVDD=14.4V、1kHz 正弦波

THD+N も周波数によって変化します。図 3-4 には、3 つの異なる電力レベルでの周波数における THD+N が示されています。

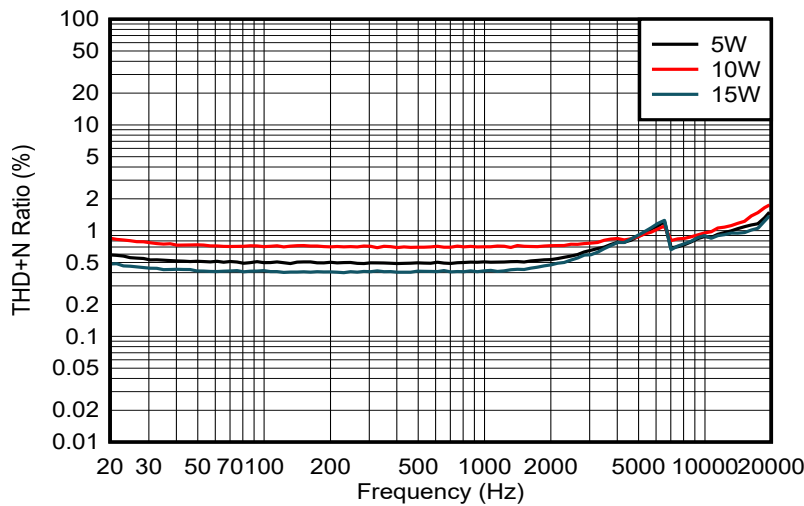


図 3-4. THD+N と周波数との対比、4Ω 負荷、PVDD = 14.4V

スイープ	トレース	色	データ	軸	備考
1	1	黒	Anlr.THd+N 比	左	5W
2	1	赤	Anlr.THd+N 比	左	10W
3	1	青	Anlr.THd+N 比	左	15W

3.4.2 電力テスト

Class-D アンプは、より大きな出力電力で高い効率を発揮するように設計されています。スイッチング損失とデバイスの消費電流は、出力電力にかかわらずほぼ同じであるため、出力電力が小さいときに効率が低く、出力電力が大きいときに効率が高くなっています。図 3-5 は、TIDA-060048 の効率と出力電力との対比を示しています。

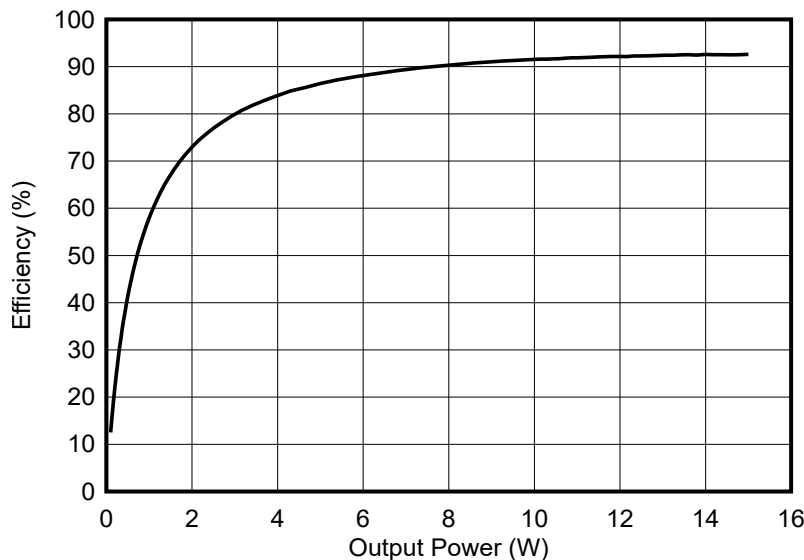


図 3-5. 効率と出力電力との対比、4Ω 負荷、PVDD=14.4V

入力電圧のレベルが低いと、出力信号は高い出力電力でクリッピングできます。これは THD + N に影響します。図 3-6 は、1% または 10% の THD + N が可能な最大出力電力と入力電圧との対比を示しています。10V を上回る場合は、1% THD + N 未満のときに 8W の出力電力を可能です。

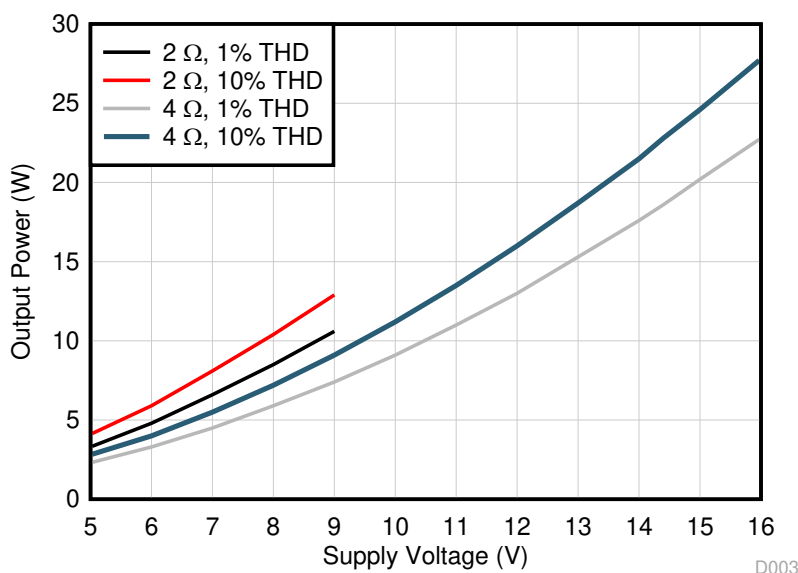


図 3-6. 最大出力電力と入力電圧との対比、4Ω の負荷

3.4.3 EMI、EMC テスト結果

この設計は、CISPR 分類規格の最も厳しい CISPR 25 Class 5 規格への合格を目標として製作および試験を行っています。この CISPR EMI 試験は第三者の施設で実施されている国際規格「車載受信機を、車内で発生する伝導および放射型電磁波によって生成される電磁干渉から保護するため」(CISPR 25 Ed. 3.0 b: 2008 年、ページ 7)であり、このリファレンス デザインを試験して、車両内の他の機器に設計が干渉しないことを確認できます。この標準で概説されているように、放射された電磁干渉は放送やモバイル電波、帯域を妨害しません。特に、このリファレンス デザインでは放送規格をピーク、疑似ピーク、平均定格で試験しています。この試験では、車載バッテリーまたは 14.4V 電源を短いケーブルと組み合わせて使用し、最適化された性能を試験します。また、1W の生成に 4Ω の抵抗性負荷を使用します。図 3-7 と図 3-8 は、CISPR 25 Class 5 試験の構成と結果を示しています。

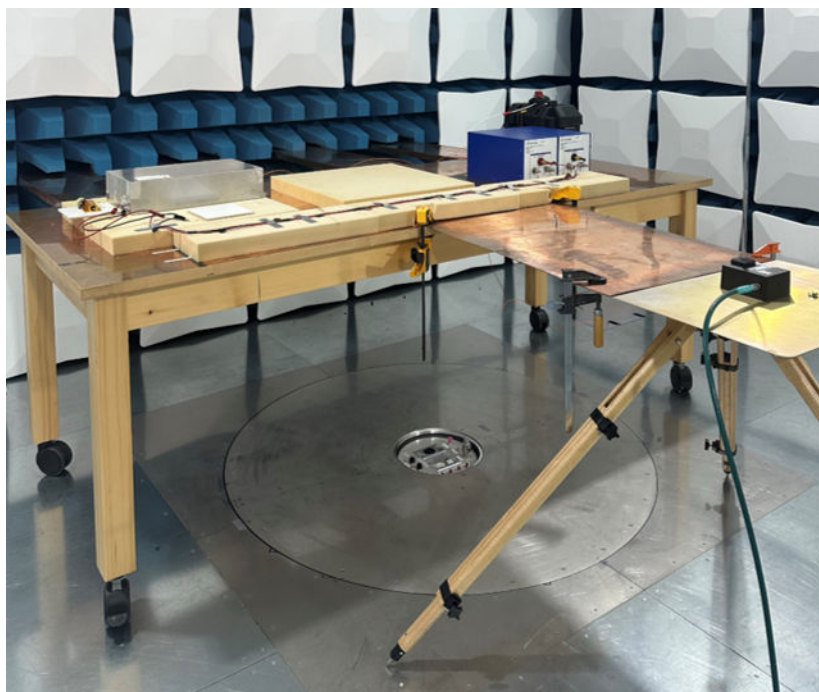


図 3-7. TIDA-060048 の CISPR 25 Class 5 試験構成

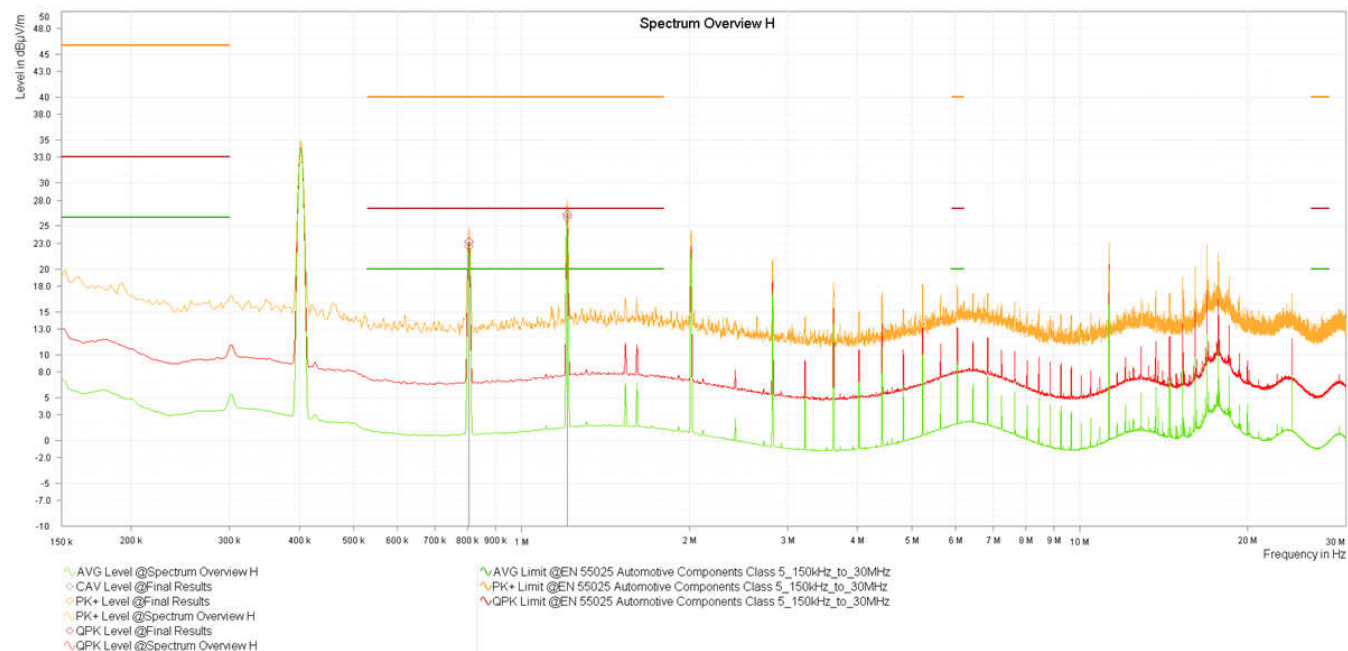


図 3-8. TIDA-060048 の放射 CISPR 25 Class 5 試験結果

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 部品表 (BOM)

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

PCB には放熱、電磁放射、信号整合性の 3 つの事項を考慮する必要があります。TAS5441-Q1 を中心としたレイアウトを設計する際には、これら 3 つの検討事項すべてが特に重要です。

TAS5441-Q1 は、負荷を最大 22W で給電し、駆動できます。TAS5411-Q1 は効率に優れているものの、一部の損失は熱として放散されます。TAS5411-Q1 の底面にある熱パッドは、熱パッドの直下にあるビアを経由してグランドプレーンに接続する必要があります。また、最上層にグランドプレーンを配置し、TAS5411-Q1 の周囲に十分なスペースを確保して熱を放散します。

Class-D アンプの出力ドライバのスイッチング波形により、電磁放射が発生することがあります。このようなスイッチングノードの面積を削減することで低インダクタンスの電流パスが得られ、望ましくない放射を低減できます。特に、出力から LC フィルタへのパターンは短くし、グランドへ戻るコンパクトな配線が可能になります。

オーディオコーデックから Class-D アンプ入力への経路において、信号の整合性は重要です。

これは差動アナログ信号です。信号から不要なノイズを除去するための最善の方法は、オーディオコーデックからのパターンを短くして、デジタル信号が他の層に交差することなく、グランドプレーン上に直接配線することです。

4.1.3.1 レイアウト プリント

レイアウト プリントをダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.4 Altium プロジェクト

Altium Designer® のプロジェクト ファイルをダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.5 ガーバー ファイル

ガーバー ファイルをダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.6 アセンブリの図面

アセンブリの図面をダウンロードするには、[TIDA-060048](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、[『LC フィルタ設計アプリケーション レポート』](#)
2. テキサス インスツルメンツ、[TLV320AIC3104『プログラミングモード入門』アプリケーション レポート](#)

4.3 サポート・リソース

[テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラム](#)は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

4.4 商標

E2E™, PicoStar™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.
Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

5 著者について

DAVEON DOUGLAS は、テキサス インスツルメンツのアプリケーションエンジニアで、車載オーディオデータコンバータを担当しています。Daveon はテキサス州 (TX) カレッジ ステーションのテキサス A&M 大学で電気工学の学士号を取得しています。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated