参考資料

Design Guide: TIDA-060054

ヒューマノイド ロボット向けオーディオ サブシステムのリファレンス デザイン

説明

このヒューマノイド ロボットのオーディオ サブシステム向けリファレンス デザインは、8 チャネル デジタル マイク インターフェイスを備えており、高性能 PDM/TDM コンバータ PCMD3180-Q1 によって単一の TDM データ ストリームに処理されます。また、2Ω 負荷に 50W の出力電力を供給するデジタル入力 Class-D オーディオ アンプ TAS6511-Q1 を搭載しています。

リソース

TIDA-060054	デザイン フォルダ
PCMD3180-Q1	プロダクト フォルダ
TAS6511-Q1	プロダクト フォルダ
LMR51450-Q1	プロダクト フォルダ
TLV767-Q1	プロダクト フォルダ

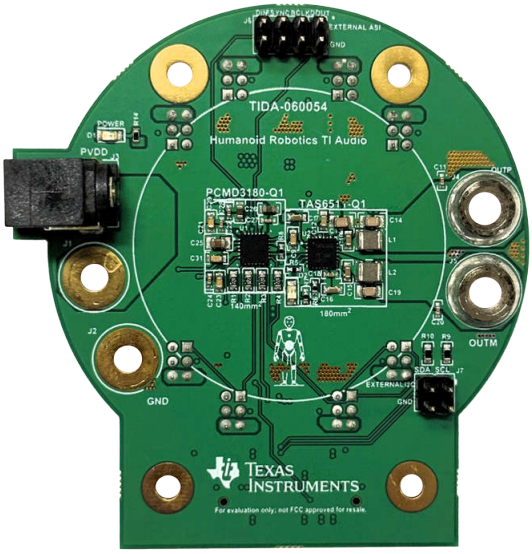
テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

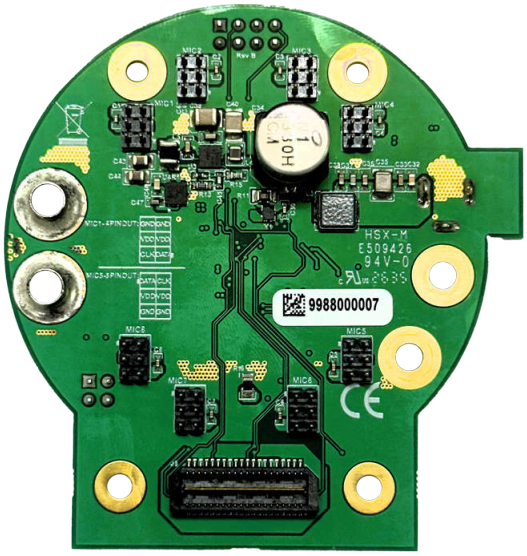
- 2Ω 負荷経由で 50W の出力電力を供給
- 8 チャネルのパルス密度変調 (PDM) マイクの同時変換
- 4 × 4 QFN パッドダウン ソリューションにより、サイズを小型化し、かさばるヒートシンクを排除
- 入力電圧範囲:4.5V ～ 19V
- 高効率、低消費電力のデバイスにより、バッテリ動作時間を延長
- プログラマブル デジタル ボリューム制御
- システム プロセッサとの接続用の外部 ASI および I2C ヘッダ
- 部品表 (BOM) サイズを強調表示

アプリケーション

- ヒューマノイドのセンサ モジュール

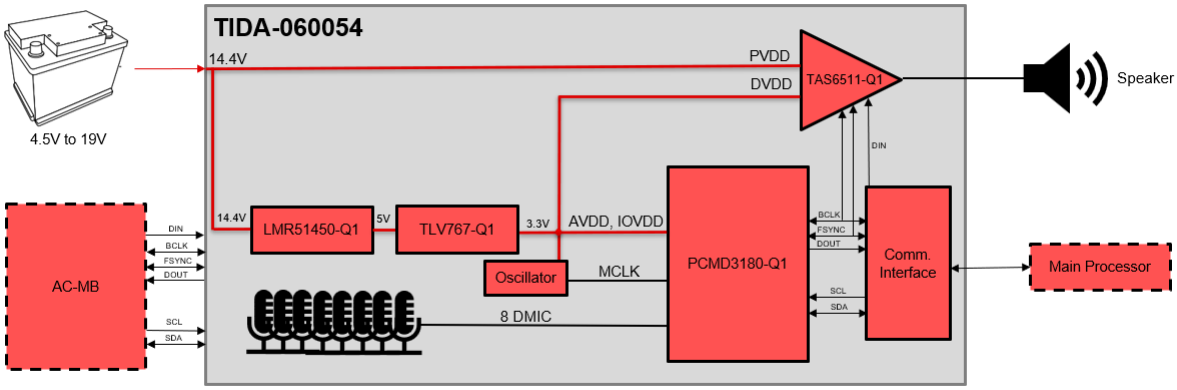


基板上面図



基板底面図

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated



ブロック図

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 システムの説明

TIDA-060054 を使用すると、PDM/TDM データ コンバータである PCMD3180-Q1 を使用した 8 個のオンボード デジタル PDM マイクのオーディオ録音と、デジタル入力 Class-D オーディオ アンプである TAS6511-Q1 を使用したオーディオ再生が可能になり、2Ω の負荷に対して 50W の出力電力を供給できます。TDM オーディオは、オーディオ コンバータ マザーボード (AC-MB) または外部 ASI や I2C の各ヘッダとインターフェイス接続する別のプロセッサを使用して外部で処理されます。

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	バッテリ	4.5	14.4	19	V
スタンバイ電流	PCMD3180-Q1、AVDD シャットダウン		5		μA
	PCMD3180-Q1、IOVDD シャットダウン		0.1		
	TAS6511-Q1、PVDD シャットダウン		2		
	TAS6511-Q1、DVDD シャットダウン		1		
消費電流	PCMD3180-Q1、3.3V での AVDD 電流、8 つの PDM チャネルが有効化		11.9		mA
	PCMD3180-Q1、3.3V での IOVDD 電流、8 つの PDM チャネルが有効化		0.7		
	TAS6511-Q1、PVDD アイドル電流、F_{SW} = 2.048MHz、オーディオ入力なし		35		
	TAS6511-Q1、DVDD 電流、–60dB 信号の再生		8		
スピーカの負荷		2	4		Ω
出力電力	2Ω 負荷、10% THD+N		50		W
	2Ω 負荷、1% THD+N		40		
	4Ω 負荷、10% THD+N		30		
	4Ω 負荷、1% THD+N		24		
SNR	PCMD3180-Q1、5 次 PDM 変調器		128		dB
	TAS6511-Q1		108		
オーディオ入出力形式		TDM8、TDM16			
パッケージ サイズ	PCMD3180-Q1	4.00mm × 4.00mm			
	TAS6511-Q1	4.00mm × 4.00mm			
ソリューション サイズ	PCMD3180-Q1	$140mm^2$			
	TAS6511-Q1	$180mm^2$			

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 システム概要

ヒューマノイド ロボットにオーディオ システムを統合することは、リアルタイムの通信や人間のユーザーとの自然なやり取り、音声処理および応答、空間認識を実現するための重要なステップです。オーディオ システムは、ヒューマノイド ロボットの耳または口として動作し、頭部に配置されたマイク アレイを使用して周囲の音を聴き、スピーカを使用して音声またはサウンド応答を出力します。オーディオ システムは通常、ヒューマノイドのヘッド ユニット内に配置され、システムが複製しようとしている身体部位の近くに配置されます。

TIDA-060054 リファレンス デザインには、ヒューマノイド ロボットのオーディオ サブシステム全体に必要なすべてのコンポーネントが組み込まれており、スピーカと電源を接続し、オーディオ シリアル インターフェイス信号 (BCLK、FSYNC、DOUT、DIN) と I2C 制御信号 (SCL、SDA) をメイン システム プロセッサにルーティングするだけで、より大型のヒューマノイド設計に統合できます。PCMD3180-Q1 は、8 個の PDM マイクから取得したデジタル マイク データを単一の TDM オーディオ ストリームに変換します。このストリームを、メイン プロセッサに直接供給して、エコー キャンセレーション、ビームフォーミング、音声認識などの洗練されたアルゴリズムを処理します。ヒューマノイドが応答できるようにするため、メイン プロセッサからのオーディオ再生を DIN ピン経由で TAS6511-Q1 デジタル入力オーディオ アンプに直接送信してスピーカを最大 50W で駆動することで、コンパクトな設計で非常に優れた電力密度を実現します。

2.1 ブロック図

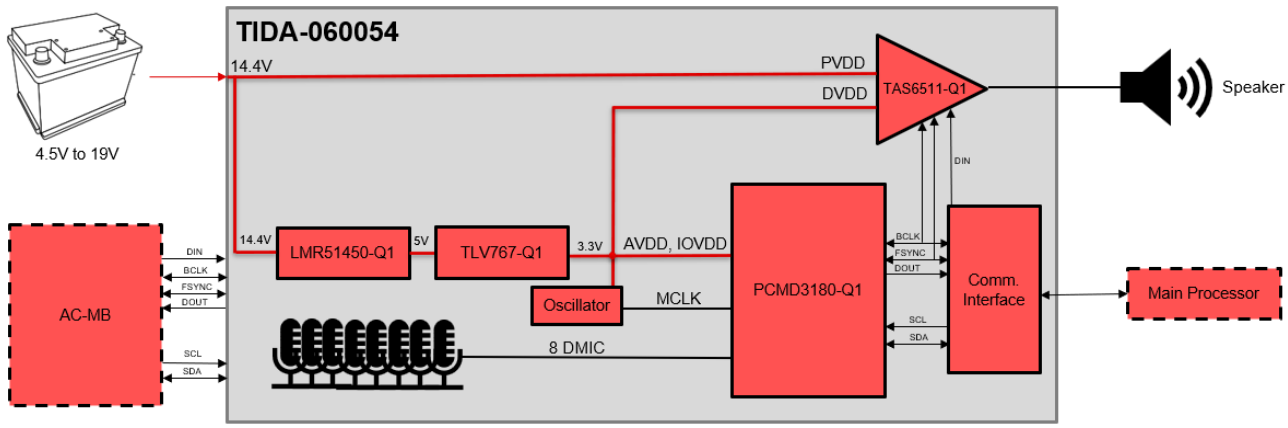


図 2-1. TIDA-060054 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 コーデックとマイクの設計

人間のような振る舞いをより自然に再現するため、ヒューマノイドは検出された音声の源に向かって物理的に向きを変え、応答しながらその方向に向く必要があります。そのためには、オーディオ システムがヒューマノイドの周囲のすべての角度からデータを収集し、音源の位置を推定する必要があります。ヒューマノイド ロボット システムは、ロボットを取り巻く 360° のオーディオ範囲全体をカバーする必要があるビームフォーミング、アクティブ ノイズ キャンセル、音声認識、空間認識などのアルゴリズムをサポートするために、マイクの設計と配置に依存しています。

TIDA-060054 リファレンス デザインは、プリント基板 (PCB) の端の周囲に 8 個の PDM マイク アレイを円形に配置し、この全方向感度を実現します。

TIDA-060054 のリビジョン A では、マイクの位置 (MIC1 ～ MIC8) にピンが配置されており、システム要件に応じて周囲の任意の場所にマイクを柔軟に配置できます。このアプローチにより、設計者は特定の空間および音響要件に応じてマイクの位置をカスタマイズできます。図 2-2 に、TIDA-060054 リビジョン A におけるマイクのピン配置の位置を示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

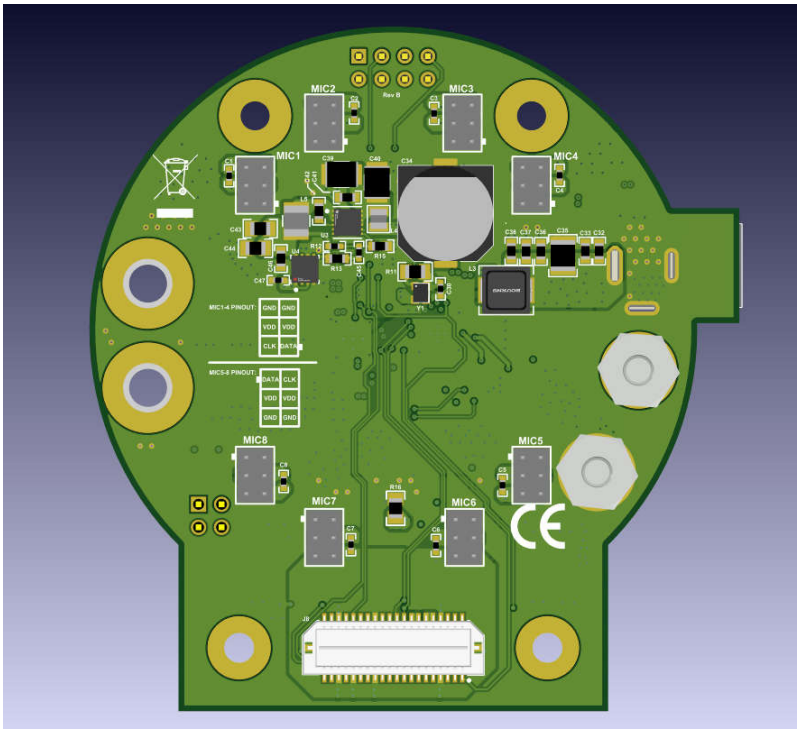


図 2-2. リビジョン A ボードの底面

標準的な PDM マイクの機能ピンは、1 つのグランド (GND)、1 つの電源 (VDD)、クロック入力 (CLK)、シリアル データ出力 (DATA)、およびサンプリング エッジを決定するための選択ピン (SEL) の合計 5 つで構成されます。マイクの GND ピンをボード上の GND ピンの 1 つに、VDD ピンを VDD ピンの 1 つに、CLK と DATA を TIDA-060054 の対応するピンにそれぞれ接続します。図 2-3 に、これらのピンを MIC1 ～ 4 または MIC5 ～ 8 に接続する場所を示します。これらは、回転させて PCB 上の信号配線と整合性を最適化します。

ここに示すコネクタのピン配置には、GND および VDD ピンが複数用意されているため、SEL ピンを柔軟に配線できます。同じクロック ラインを共有する隣接するマイク ペア (MIC1/2、MIC3/4、MIC5/6、MIC7/8) については、SEL ピンを逆極性に設定して反対側のエッジでサンプリングする必要があります。たとえば、MIC1 ピンの SEL を VDD に接続して PDMCLK の立ち上がりエッジでサンプリングする場合、MIC2 SEL を GND に接続して立ち下がりエッジでサンプリングする必要があります。SEL が GND に接続されている場合、一部のマイクは PDMCLK の立ち上がりエッジでサンプリングすることがあるため、選定したマイク仕様に適合した構成になっているかどうかを確認してください。このようなスタガード エッジ サンプリングは、複数マイクにおける同一の CLK ラインおよび DATA ラインの共有と、マイク アレイ内のすべてのチャネルにおけるクリーンな信号分離の維持に不可欠です。

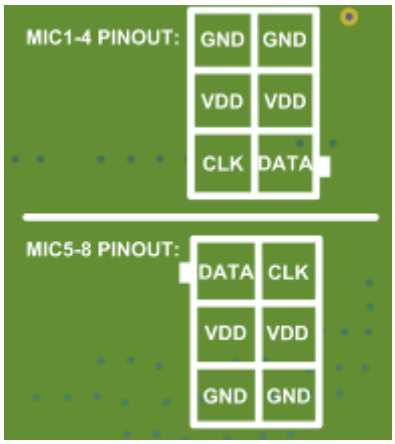


図 2-3. リビジョン A のマイク ピン配置ガイド

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

リビジョン B では固定アプローチを採用しており、マイクのヘッダー ピンを廃止する代わりに、物理的なデジタル マイク (U1 ～ U8) を直径約 4cm の円形アレイに直接組み込んでいます。この統合型設計により、組み立てが簡素化され、ヒューマノイド ロボット アプリケーション向けに最適化された標準ソリューションを実現できます。図 2-4 に、TIDA-060054 リビジョン B の底面におけるマイクの位置を示します。

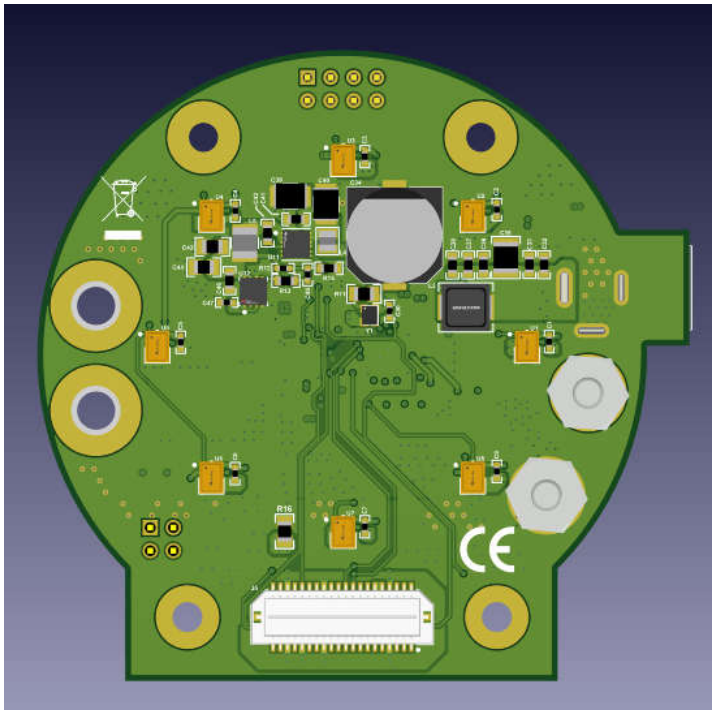


図 2-4. リビジョン B ボードの底面

リビジョン B の設計は、マイクを組み込み、そのためにレイアウトを調整している点以外は、リビジョン A と同じです。マイクの配置では、円形の面積が大きいほど正確に収集できる音の距離と周波数が増加する一方で、マイク密度が高いほど音の位置特定能力が向上します。どちらのリビジョンも、このアプリケーションにおけるマイク配置の根本的なトレードオフを解消しています。人間の頭部とほぼ同じ大きさの円形の領域に配置したマイク アレイは、ヒューマノイド ロボットが必要とするオーディオ処理に適した折衷点になります。

ほとんどのアプリケーションでは最大 8 個のマイクを使用します。そのため、PCMD3180-Q1 はヒューマノイド ロボットのオーディオ サブシステムに最適です。デジタル マイクは、ノイズ耐性に優れているため、一般的にヒューマノイド ロボット アプリケーションではアナログ マイクよりも好まれ、屋外や製造現場など、ノイズの多いさまざまな実環境で堅牢なオーディオ処理を実現できます。TIDA-060054 の 8 個の PDM マイクには、PCMD3180-Q1 からの MICBIAS 電圧出力が供給されます。

さらに、TIDA-060054 はオンボード発振器を搭載しており、PCMD3180-Q1 の GPIO1 ピンに 12.288MHz MCLK 入力を供給します。これにより、コントローラ モードで動作するオプションが実現します。このモードでは、BCLK および FSYNC オーディオ クロックが PCMD3180-Q1 によって生成され、TAS6511-Q1 および外部プロセッサに送信されます。コントローラ モードで動作している場合、外部の BCLK 信号や FSYNC 信号を供給しないでください。出力 DOUT、BCLK、FSYNC は ASI ヘッダで利用できますが、入力データ DIN は TAS6511-Q1 に供給する必要があります。

TDM データおよび ASI クロック信号は、外部 ASI ヘッダを経由してメイン プロセッサにルーティングされます。代わりに、開発とテストの目的で、オプションのオーディオ コンバータ マザーボード (AC-MB) を使用して、TIDA-060054 と PC とのインターフェイス接続を確立し、オーディオ処理と I2C プログラミングをサポートすることもできます。AC-MB は動作に必要ありません。オンボード コンバータがオーディオ デバイス用の 3.3V 電源レールを生成するため、ボードに対して 14.4V バッテリ入力からフルに電力を供給できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.2.2 Class-D アンプの設計

TAS6511-Q1 Class-D アンプは、オーディオ信号の振幅に比例するデューティ サイクルの方形波信号を出力します。オーディオ信号の復元には、LC 復調フィルタを使用します。このフィルタは、オーディオ帯域外の出力信号の高周波成分を減衰させます。復調フィルタの設計は、パワーアンプのオーディオ性能に大きな影響を及ぼします。したがって、システムの THD+N 要件を満たすためには、出力フィルタで使用するインダクタを、慎重に検討した上で、選定する必要があります。アプリケーション ノート『LC フィルタ設計』と Class-D LC Filter Designer カリキュレータは、LC フィルタを設計するために必要なツールを提供します。TIDA-060054 は、アンプ出力の LC フィルタにブリッジ接続負荷構成を使用します。図 2-5 に L_{BTL} = 3.3uH および C_g = 1uF で示されています。

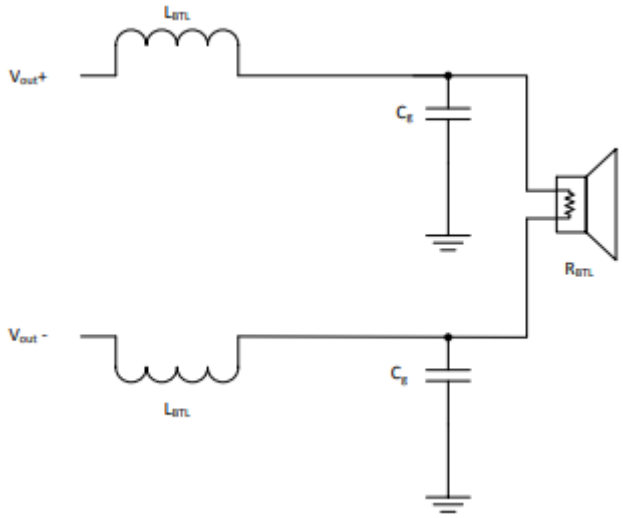


図 2-5. ブリッジ接続負荷 (BTL) Class-D アンプ LC フィルタ

図 2-6 に、2Ω 負荷に対するこの LC フィルタの周波数応答を示します。

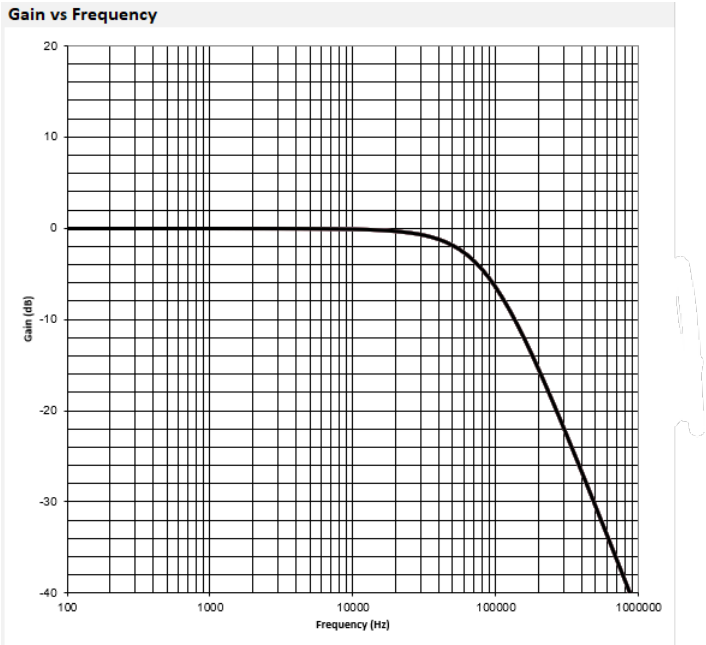


図 2-6. TIDA-060054 Class-D 出力 LC フィルタの周波数応答

TIDA-060054 には、フォルト インジケータ LED D2 も搭載されています。赤色の LED は TAS6511-Q1 の FAULT ピンを監視し、デフォルトでは次のいずれかの条件でオンになります。

- 過熱シャットダウン (OTSD) – ラッチングとラッチングなし

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

- 過電流制限およびシャットダウン イベント – ラッチング
- DC 検出 – ラッチング

必要に応じて、FAULT ピンを構成してリアルタイムの負荷診断イベントを通知することもでき、アンプのオーディオ動作中に負荷の短絡、開放負荷、電源への短絡、グランドへの短絡状態を検出することもできます。

2.2.3 電力設計

バッテリ動作時間は、ヒューマノイド ロボットの設計において最も重要な検討事項の 1 つです。高効率と低アイドル時消費電力は、ヒューマノイドを実環境で運用可能にするための基本要件となります。TIDA-060054 は単一の PVDD ソースから、必要なすべての電源レールを生成します。これは、バレル ジャック (リビジョン A の J3、リビジョン B の J8)、または J1 のバナナ ジャックに印加可能です。これらのピンの両方に同時に電圧を印加しないでください。

電圧レギュレータは、3.3V の電源レールから最大 1A の電流を供給するよう選定されています。PCMD3180-Q1 は AVDD および IOVDD ピン用の 3.3V 単一電源で動作するよう最適化されています。AVDD ピンと IOVDD ピンは、8 つの PDM チャネルを有効にした状態での録音中の電流消費が合計 20mA 未満です。表 2-1 と 表 2-2 に、サンプリング レート、有効なチャネル、PDM クロック周波数のさまざまな組み合わせに対する PCMD3180-Q1 の消費電力を示します。デジタル マイクの使用中に低消費電力モードでデバイスを構成して使用する方法に関する詳細および情報については、『さまざまな使用シナリオにおける TLV320ADCx140 の消費電力マトリックス』アプリケーション ノートを参照してください。

表 2-1. 外部 PDM 4 次変調器を使用した場合の PDM の消費電流の代表値

PDM クロック		6.144MHz	3.072MHz	1.536MHz	0.768MHz
サンプリング レート (kHz)	デジタル マイクロフォン チャネル	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)
8	8	7.85	7.93	7.89	7.87
16	8	8.97	9.23	9.19	-
24	8	8.92	8.99	8.99	-
32	8	9.71	9.92	-	-
48	8	11.26	11.69	-	-
96	4	11.87	-	-	-

表 2-2. 外部 PDM 5 次変調器を使用した場合の PDM の消費電流の代表値

PDM クロック		6.144MHz	3.072MHz	1.536MHz	0.768MHz
サンプリング レート (kHz)	デジタル マイクロフォン チャネル	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)	3.3V での AVDD 電流 (mA)
8	8	7.93	7.92	7.88	7.80
16	8	9.25	9.20	9.15	-
24	8	9.04	8.98	8.91	-
32	8	9.93	9.83	9.77	-
48	8	11.71	11.60	-	-
96	4	12.14	12.05	-	-
192	4	11.96	-	-	-

TAS6511-Q1 は DVDD デジタル ロジック 3.3V 電源および PVDD 電圧入力で動作し、最大 19V のバッテリに直接接続できます。DVDD ピンは通常約 10mA を消費し、PVDD ピンはアイドル時に通常 35mA を消費します。最大出力時には、TAS6511-Q1 は 50W 出力電力時に業界最高クラスの 90% の効率を実現し、バッテリからの消費電力を最小限に抑えます。

この 2 つのレギュレータは、過渡性能とノイズ除去を改善するための入力コンデンサと、電圧安定性を確保するために出力コンデンサが必要です。高効率で入力電圧を 5V に降圧するために降圧コンバータが選択され、オーディオ デバイスの電源ピンでノイズを最小限に抑えるために LDO から 3.3V レールが生成されます。

LMR514500-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、2 個の 4.7µF 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少なくとも倍で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、2 個の 33µF コンデンサを推奨します。出力インダクタと抵抗帰還回路は、5V の出力電圧と 440kHz のスイッチング周波数に合わせて設計されています。TLV767-Q1 デバイスでは、過渡応答、入力リップル、PSRR を改善するために 1µF 入力コンデンサを推奨します

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

が、必須ではありません。安定のために推奨される 2.2µF の出力コンデンサを使用することで、デバイスの動的性能が向上します。

2.3 主な使用製品

2.3.1 PCMD3180-Q1

PCMD3180-Q1 は、高性能、低消費電力、柔軟性の高い 8 チャネルのパルス密度変調 (PDM) 入力から時分割多重 (TDM) または I2S オーディオ出力へのコンバータであり、広範な機能を統合しています。このデバイスは、音声操作システム、ポータブル コンピューティング、通信、エンターテインメントの各アプリケーションを意図しています。このデバイスは消費電力が低いため、バッテリ駆動の携帯オーディオ システム用に適しています。このデバイスには、スペースが制限されたバッテリ駆動の民生用、家庭用、産業用アプリケーションにおけるコスト、基板スペース、電力消費を削減する多数の機能が統合されています。

PCMD3180-Q1 は以下に示すブロックで構成されています。

- 8 チャネルのパルス密度変調 (PDM) デジタル マイク インターフェイスと高性能デシメーション フィルタ
- デジタル マイクに電力を供給するための低ノイズのマイク バイアス出力
- 線形位相または低レイテンシ フィルタを備えたプログラマブル デシメーション フィルタ
- 各チャネル用のプログラム可能なデジタル ボリューム制御、バイクワッド フィルタ
- 各チャネルごとに、高分解能で位相とゲインの較正をプログラム可能
- プログラマブル ハイパス フィルタ (HPF) およびデジタル チャネル ミキサ
- 多様なシステム クロックをサポートする低ジッタのフェーズ ロック ループ (PLL) を内蔵
- 単一電源動作をサポートするデジタルおよびアナログ電圧レギュレータを内蔵

制御レジスタを構成するための PCMD3180-Q1 との通信は、I2C または SPI を使用してサポートされています。このデバイスは、柔軟性の高いオーディオ シリアル インターフェイス (時分割多重化 [TDM]、I2S、または左詰め [LJ]) をサポートしており、システムではオーディオ データをデバイス間でシームレスに送信できます。デバイスは、複数のデバイス間で共通の I2C と TDM バスを共有することで、複数のデバイスをサポートできます。さらに、このデバイスはデイジーチェーン機能と、セカンダリ オーディオ シリアル出力データ ピンを備えています。ただし、これらの機能では GPIO ピンを使用する必要があります。8 個の PDM マイクが接続されている場合、利用できる GPIO ピンは GPIO1 のみです。これは、TIDA-060054 の MCLK 入力として使用されます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

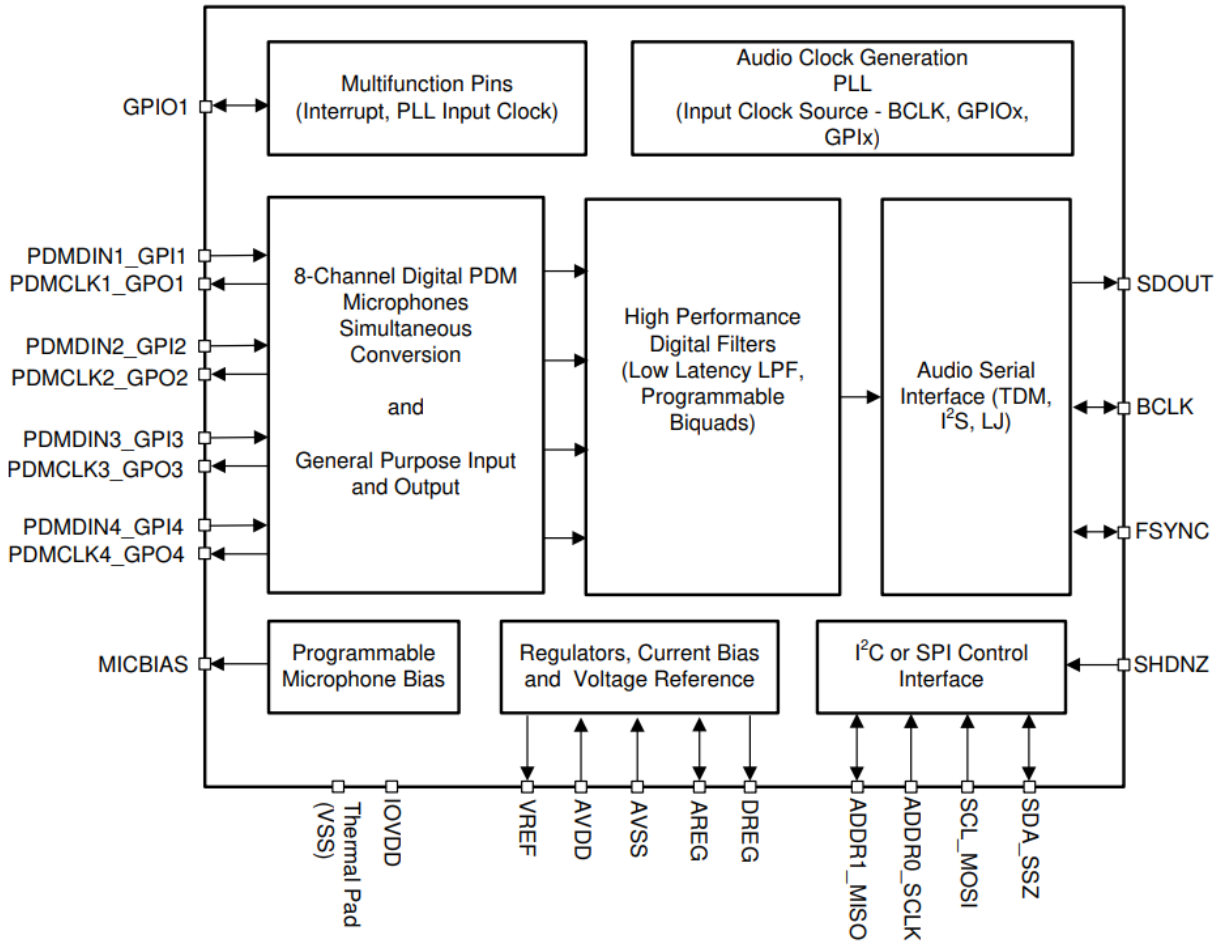


図 2-7. PCMD3180-Q1 の機能ブロック図

2.3.2 TAS6511-Q1

TAS6511-Q1 は、モノチャネル、デジタル入力の Class-D オーディオ アンプであり、2MHz のスイッチング周波数をサポートし、コストとサイズが最適化されたシングル チャネル オーディオ アンプ設計を実現できます。このデバイスは 4.5V～19V で動作し、最大 30W (14.4V、4Ω、10% THD+N) および最大 50W (14.4V、2Ω、10% THD+N) を供給します。このデバイスは、DC および AC 負荷の診断機能を内蔵しており、出力段を有効にする前に、接続されている負荷の状態を判定します。さらに、デバイスはホストおよびオーディオ入力から独立して動作するリアルタイム負荷診断機能を使用して、オーディオの有無にかかわらず、PLAY モード中に出力負荷状態を監視できます。リアルタイム負荷診断 (RTLDG) により、アンプのオーディオ動作中に負荷の短絡 (SL)、開放負荷 (OL)、電源への短絡 (S2P)、グランドへの短絡 (S2G) 状態を検出できます。

このデバイスは、小型パッドダウン TSSOP およびウェッタブル フランク付き QFN パッケージで供給され、ヒートシンクのないオーディオ アンプ設計を実現します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

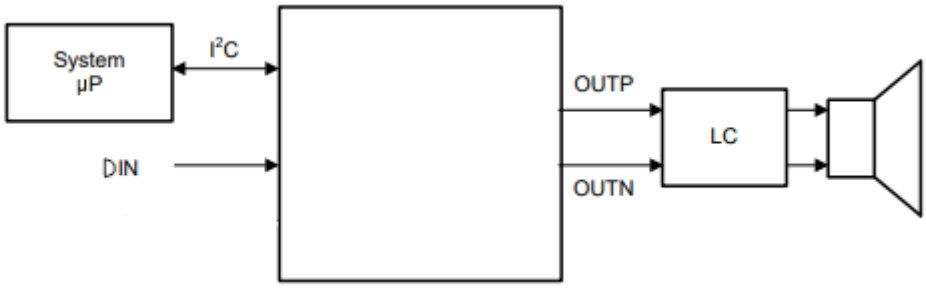


図 2-8. TAS6511-Q1 の概略ブロック図

2.3.3 LMR51450-Q1

LMR514x0-Q1 コンバータは、4V ～ 36V の電源電圧で動作する使いやすい同期整流降圧 DC/DC バック コンバータです。このデバイスは、非常に小さい設計サイズで最大 4A または 5A の DC 負荷電流を供給できます。LMR514x0-Q1 は外付け抵抗により 200kHz ～ 1MHz の可変スイッチング周波数を実現し、効率または外付け部品サイズを最適化する柔軟性があります。このファミリには、さまざまなアプリケーションに適用可能な複数のバージョンがあります。LMR514x0-Q1 は、固定周波数のピーク電流モード制御を使用します。軽負荷時にはパルス周波数変調 (PFM) バージョンは PFM モードに入り、高い効率を実現します。強制パルス幅変調 (FPWM) バージョンを備えており、軽負荷時に、小さい出力電圧リップル、正確な出力電圧安定化、一定のスイッチング周波数を実現します。このリファレンス デザインでは、PFM バージョンを使用しています。デバイスは内部で位相補償されているため、設計時間が短縮され、外付け部品はとんど必要ありません。高精度イネーブルや内部ソフト スタートなどの追加機能により、広範なアプリケーション向けの柔軟で使いやすい設計を実現できます。保護機能として、サーマル シャットダウン、VIN 低電圧誤動作防止、サイクル単位の電流制限、ヒカップ モード短絡保護が搭載されています。このデバイス ファミリは必要な外付け部品が非常に少なく、PCB レイアウトが単純かつ最適になるようにピン配置が設計されています。

2.3.4 TLV767-Q1

TLV767-Q1 は入力範囲の広いリニア電圧レギュレータで、2.5V～16V の入力電圧範囲に対応し、最大 1A の負荷電流を供給できます。出力範囲は 0.8V～12V、または可変バージョンでは最高 14.6V です。このデバイスは入力電圧範囲が広いため、変圧器の 2 次巻線やレギュレートされたレール (10V または 12V など) で動作するのに適しています。また、出力電圧範囲が広いため、マイクロコントローラ (MCU) やプロセッサに電力を供給するだけでなく、シリコン カーバイド (SiC) ゲートドライバやマイクのバイアス電圧を生成することもできます。TLV767-Q1 は、電源要件の厳しいデジタル負荷への電力供給で必要とされる出力精度 1% を達成しています。内蔵するソフトスタート回路により、スタートアップ時の突入電流が抑制されるため、入力容量の低減が可能です。広帯域の PSRR 特性は、1kHz で 70dB、1MHz で 46dB を超え、上流の DC/DC コンバータのスイッチング周波数を減衰して、レギュレータ後のフィルタ処理を最小化できます。20Hz ～ 20kHz で高いリップル除去比を実現しており、オーディオ部品への電力供給に最適です。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、およびテスト結果

3.1 ハードウェア要件

このハードウェア設計には、前述のブロックと、I2C コマンドとオーディオを PCMD3180-Q1 および TAS6511-Q1 に送信する AC-MB が含まれます。最終的なシステムでは、AC-MB コントローラを対応マイコンに置換します。この設計を評価する際、SCL と SDA の各ヘッダ ピンに接続して、任意の I2C コントローラを使用できます。

3.2 ソフトウェア

PPC3 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 アドレス レジスタ アドレス データ

3.2.1 サンプル スクリプト

次の I2C コマンドは、8 チャネルの PDM マイク アレイを処理するための PCMD3180-Q1 と、オーディオ再生のための TAS6511-Q1 を設定する方法を示しています。

```
## PCMD3180-Q1 Device Setup ##
 ################################################################
# PDM 8-channel: PDMDIN1 - Ch1 and Ch2, PDMDIN2 - Ch3 and Ch4,
# PDMDIN3 - Ch5 and Ch6, PDMDIN4 - Ch7 and Ch8
# PDMCLKx = 2.8224MHz
# FSYNC = 48kHz (Output Data Sample Rate), BCLK = 12.288MHz (BCLK#FSYNC = 256)
 ################################################################
w 98 00 00 # Select Page 0
w 98 01 01 # Software Reset
w 98 00 00 # Select Page 0
w 98 02 81 # Exit Sleep Mode
w 98 00 00 # Select Page 0
w 98 07 30 # TDM, 32-bit
w 98 0B 00 # Channel 1 to TDM slot 0
w 98 0C 01 # Channel 2 to TDM slot 1
w 98 0D 02 # Channel 3 to TDM slot 2
w 98 0E 03 # Channel 4 to TDM slot 3
w 98 0F 04 # Channel 5 to TDM slot 4
w 98 10 05 # Channel 6 to TDM slot 5
w 98 11 06 # Channel 7 to TDM slot 6
w 98 12 07 # Channel 8 to TDM slot 7
w 98 13 81 # Controller mode with MCLK = 12.288MHz
# w 98 13 01 # Replace the command above for Target Mode
w 98 14 48 # FSYNC = 48kHz, BCLK/FSYNC = 256
w 98 1F 40 # PDMCLK is 2.8224MHz or 3.072MHz
w 98 20 00 # PDMCLK Channel 1/3/5/7 latch on negative edge, Channel 2/4/6/8 latch on positive edge
w 98 21 A0 # GPIO1 configured as MCLK input
w 98 22 41 # GPO1 = PDMCLK1
w 98 23 41 # GPO2 = PDMCLK2
w 98 24 41 # GPO3 = PDMCLK3
w 98 25 41 # GPO4 = PDMCLK4
w 98 2B 45 # GPI1 = PDMDIN1, GPI2 = PDMDIN2
w 98 2C 67 # GPI3 = PDMDIN3, GPI4 = PDMDIN4
w 98 3C 40 # Enable Channel 1 as PDM input
w 98 41 40 # Enable Channel 2 as PDM input
w 98 46 40 # Enable Channel 3 as PDM input
w 98 4B 40 # Enable Channel 4 as PDM input
w 98 50 40 # Enable Channel 5 as PDM input
w 98 55 40 # Enable Channel 6 as PDM input
w 98 5A 40 # Enable Channel 7 as PDM input
w 98 5F 40 # Enable Channel 8 as PDM input
w 98 6C 20 # 1 biquad per channel
w 98 73 FF # Enable input channels 1-8
w 98 74 FF # Enable output slots 1-8
w 98 75 E0 # Enable MICBIAS, PLL, and all PDM channels
r 98 76 02 # Read device status

## TAS6511-Q1 Device Setup ##
 ################################################################
w B0 00 00 # Page switching (1st 00) to page 0 (2nd 00)
w B0 7F 00 # Change to book 0
w B0 01 19 # Device reset
w B0 00 00 # Page switching (1st 00) to page 0 (2nd 00)
w B0 7F 00 # Change to book 0
w B0 7D 11 # Enter setup mode (1 of 2)
```


Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

```
w B0 7E FF # Enter setup mode (2 of 2)
w B0 00 01 # Page switching (00) to page 1 (01)
w B0 28 40 # Set DIG deglitch
w B0 57 01 # Enable Isense in Hi-Z
w B0 7D 00 # Exit setup mode (1 of 2)
w B0 7E 00 # Exit setup mode (2 of 2)
w B0 00 00 # Page switching (1st 00) to page 0 (2nd 00)
w B0 21 15 # TDM mode
w B0 23 0C # 32-bit word length
w B0 25 0C # 32-bit word length
w B0 61 05 # Enable SS
w B0 62 08 # SS period from 1/FSS to 8/FSS
w B0 00 00 # Page switching (1st 00) to page 0 (2nd 00)
w B0 03 30 # Wake from sleep mode
w B0 03 40 # Set device to play mode
```

3.3 テスト設定

装置:

- Audio Precision APx555 オーディオ アナライザ
- オーディオ コンバータ マザーボード (AC-MB)
- 電源 – 5V ～ 19V、4A
- 2Ω の負荷

ベンチテスト設定:

- PVDD = 14.4V
- 2Ω の負荷

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.4 テスト結果

全高調波歪み＋ノイズ (THD+N) は、純粋な元の信号に対する不要な歪みと背景ノイズの比率です。これは、入力信号に対する dBFS または % 単位で測定できます。図 3-1 に PCMD3180-Q1 レコード パスの周波数における THD+N 性能を示し、図 3-2 に TAS6511-Q1 を通過する再生パスの THD+N 性能を示します。

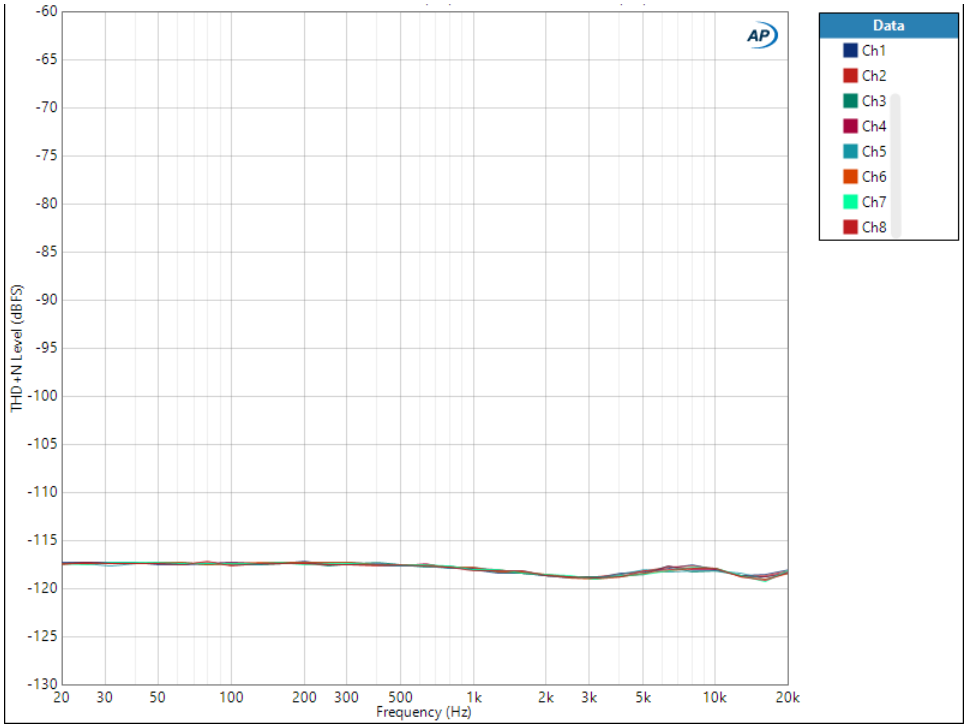


図 3-1. –20dBr の入力で THD+N と入力周波数との関係を記録

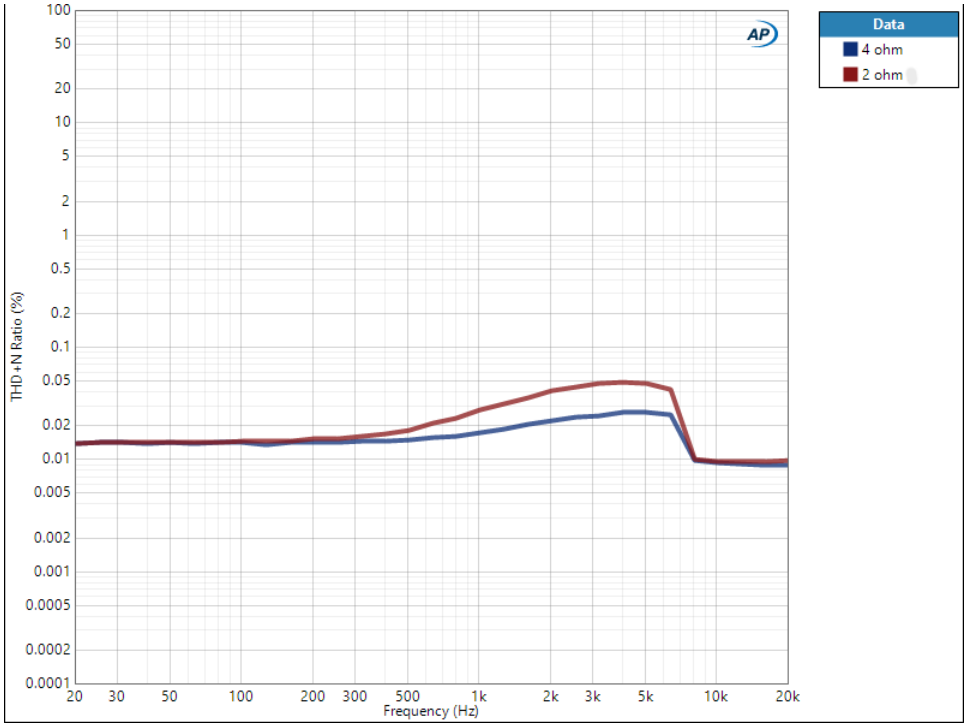


図 3-2. 再生 THD+N と周波数との関係

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

図 3-3 に、PCMD3180-Q1 レコード パスの PDM 入力の FFT を示します。この測定には、標準的な PDM デジタル マイクの中でより一般的に見られるよう、4 次 PDM 変調器を使用します。PCMD3180-Q1 は、5 次 PDM 変調器を使用して、10dB 優れたダイナミック レンジ性能を実現します。

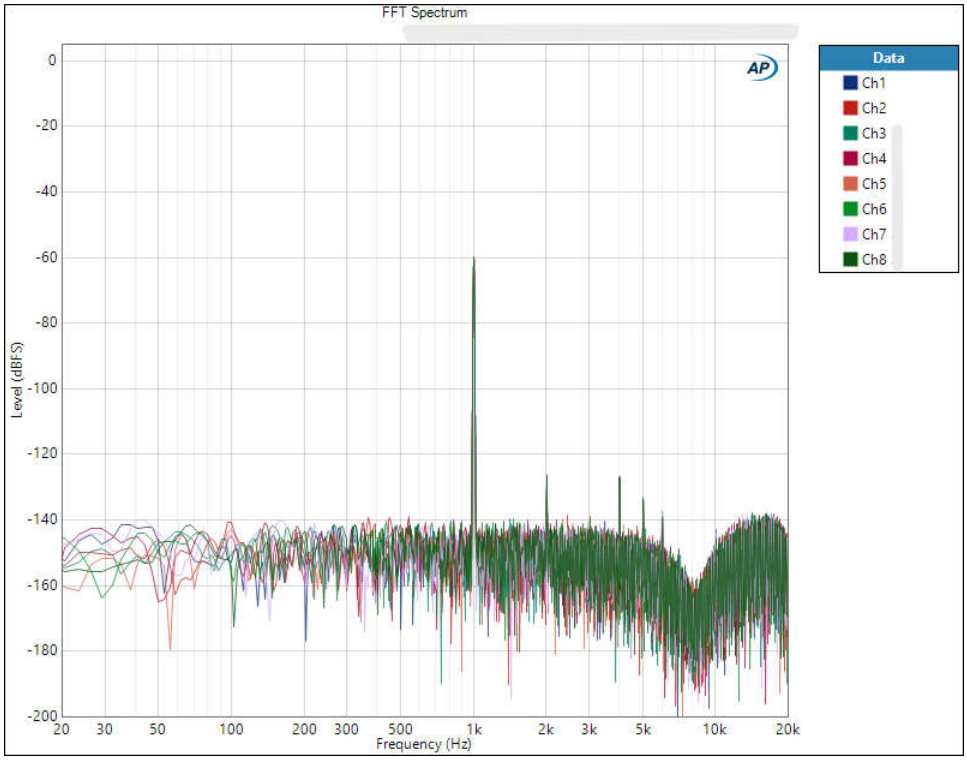


図 3-3. -60dBr 入力の PDM FFT

この設計では、14.4V PVDD に対して 2Ω 負荷に最大 50W を供給でき、図 3-4 では濃い青色の線で示されています。

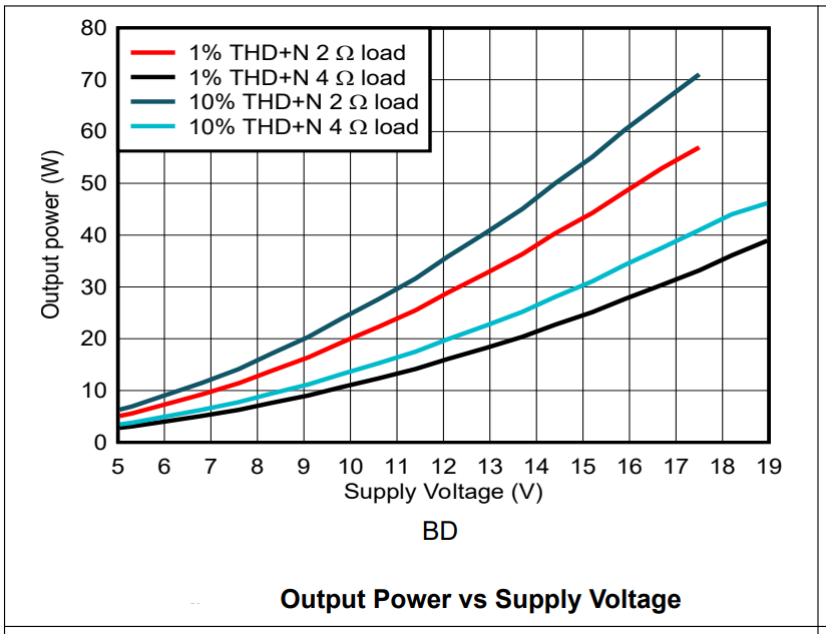


図 3-4. 出力電力と PVDD 電圧との関係

図 3-5 に、出力電力によって再生パス THD+N がどのように変化するかを示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

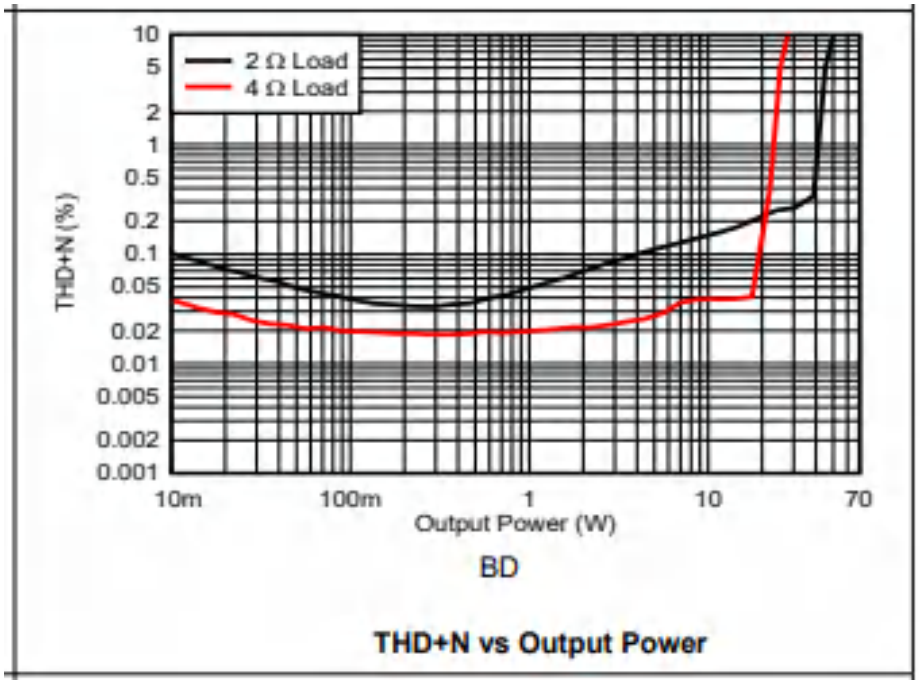


図 3-5. 再生 THD+N と出力電力との関係

TAS6511-Q1 Class-D アンプは、より大きな出力電力で効率が高まるよう設計されています。図 3-6 は、TIDA-060054 の効率と出力電力との対比を示しています。

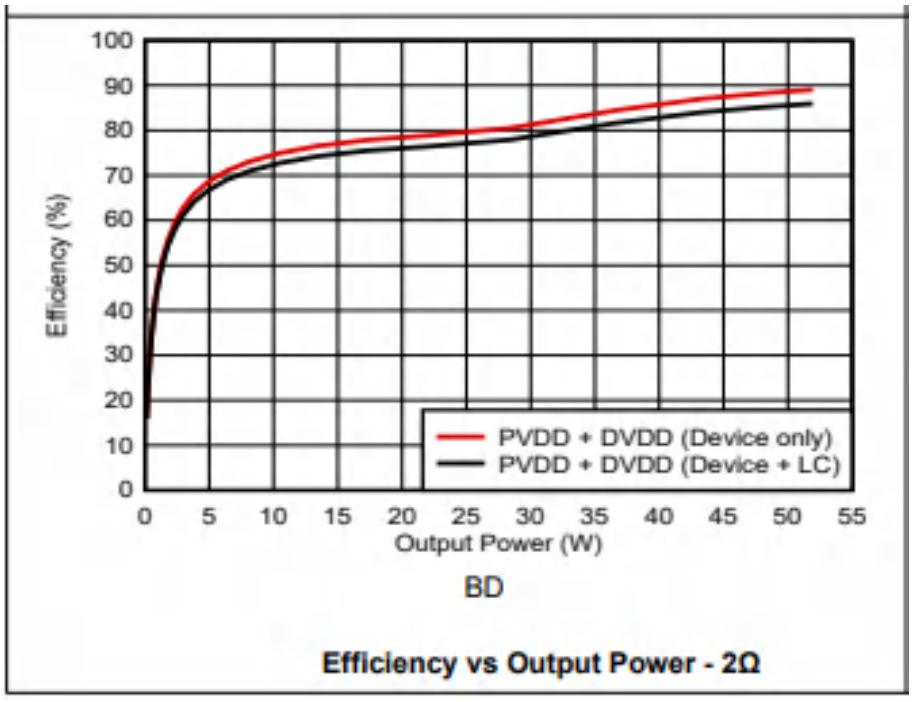


図 3-6. 効率と出力電源との関係、2Ω 負荷

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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-060054 のデザイン ファイルを参照してください。回路図ダウンロード内の Rev A フォルダにリビジョン A の回路図、Rev B フォルダにリビジョン B の回路図があります。

4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、TIDA-060054 のデザイン ファイルを参照してください。BOM ダウンロード内の Rev A フォルダにリビジョン A の BOM、Rev B フォルダにリビジョン B の BOM があります。

4.1.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

デバイスの性能を最適化するため、次のガイドラインを使用できます。

- サーマル パッドをグランドに接続します。デバイスの真下にあるデバイスの熱パッドをグランド プレーンに接続するためにビア パターンを使用して、デバイスからの熱の放散を補助します。
- 電源用のデカップリング コンデンサは、デバイスのピンに近づけて配置する必要があります。
- 電源デカップリング コンデンサには、低 ESR のセラミック タイプを使用する必要があります。
- デバイスの内部電圧リファレンスは、外付けのコンデンサを使用してフィルタ処理する必要があります。最高の性能を得るため、フィルタ コンデンサは VREF ピンの近くに配置します。
- VREF および MICBIAS の外部コンデンサのグランド端子を AVSS ピンに直接短絡します。この接続トレースにはビアを使用しないでください。
- MICBIAS コンデンサ（低い等価直列抵抗を持つもの）を、デバイスにできるだけ近く、トレース インピーダンスが最小となるように配置します。
- デバイスとデカップリング キャパシタの間で電力および信号電流の最小インピーダンスを提供するために、グランド プレーンを使用します。デバイスの真下の領域を、デバイスのための中央グラウンド エリアとして扱い、すべてのデバイスのグラウンドをそのエリアに直接接続します。
- LC フィルタのコンデンサのグランド接続では、デバイスに戻るための直接パスと、TAS6511-Q1 と同じ PCB レイヤのグランド リターンを備えています。この直接パスにより、同位相 EMI 除去性能を向上させることができます。
- PVDD のデカップリング コンデンサはデバイスのごく近くにあり、グランド リターンはグランド ピンの近くにあります。
- デバイスのピンと同じ側にグランド プレーンを配置すると、高周波スイッチング電流に対して非常に小さいループ インピーダンスを実現することができ、EMI の低減に役立ちます。このプレーン領域に複数のグランド ビアを配置して、低インピーダンスのグランド リターン パスを可能にし、放熱性能を向上させます。
- 出力ピンからインダクタへのパターンは、スイッチング電流のループを最小限に抑えるため、最短のパターンである必要があります。

4.2 ツールとソフトウェア

4.2.1 ツール

PCMX140Q1EVM-PDK、PCMD3180-Q1 評価ボード

TAS6511-Q1-DESIGN、TAS6511-Q1 技術ドキュメント リクエスト フォーム

TAS6511Q1EVM、TAS6511-Q1 評価ボード

4.2.2 ソフトウェア

このリファレンス デザインでは、I2C プログラミング向けに PurePath Console 3 から入手できる I2C マスタを活用しています。

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、PCMD3180-Q1、車載、8 チャネル、PDM (パルス密度変調) 入力から TDM (時分割多重) または I²S 出力へのコンバータ、データシート
2. テキサス インスツルメンツ、TAS6511-Q1 50W、2MHz デジタル入力対応 1 チャネル車載ヒートシンク不要 Class-D オーディオ アンプ (電流検出およびリアルタイム負荷診断機能搭載)、データシート
3. テキサス インスツルメンツ、LMR514x0-Q1 36V、4A/5A、車載、低 IQ 同期整流降圧コンバータ、データシート

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4. テキサス インスツルメンツ、TLV767-Q1 1-A、16-V リニア電圧レギュレータ、データシート

4.4 サポート リソース

テキサス・インスツルメンツの 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、設計で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。

商標

テキサス・インスツルメンツの™ is a trademark of Texas Instruments.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 著者について

GARRET GODFREY は、テキサス インスツルメンツのオーディオ コンバータ チームのアプリケーション エンジニアです。フロリダ大学を卒業した後、2025 年に TI に入社しました。

6 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (August 2026) to Revision B (November 2026)	Page
• ドキュメント全体で、基板のリビジョン 2 に関する情報を追加	1

Changes from Revision * (May 2026) to Revision A (August 2026)	Page
• サンプル スクリプトの軽微な問題を修正しました	12

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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