

オーディオ・アンプのゲインを計算する

Audio Power Amplifier

概要

このアプリケーション・ノートでは、シングルエンド型 (SE)、ブリッジ接続負荷型 (BTL)、完全差動型など、様々なタイプのオーディオ・パワー・アンプ構成について述べます。オーディオ・アンプを手がけるエンジニアに向けて、ブ

ロック図やゲイン式や実際的なシナリオを使った例を示しながら各構成を説明し、オーディオ・アンプのゲインを計算する方法を解説します。

目次

1. はじめに.....	2
1.1 スピーカの電力	2
1.2 スピーカのインピーダンス	2
1.3 オーディオ・パワー・アンプのゲイン設定.....	2
2. シングル・エンド型 (SE) オーディオ・パワー・アンプ.....	2
2.1 設計	2
2.2 式.....	2
2.3 SE型の例.....	3
3. ブリッジ接続負荷型 (BTL) オーディオ・パワー・アンプ.....	4
3.1 設計	4
3.2 式.....	4
3.3 BTL型の例.....	5
4. 完全差動型オーディオ・パワー・アンプ.....	6
4.1 設計	6
4.2 式.....	6
4.3 完全差動型の例.....	7
5. 結論.....	9

図目次

図1 SE型オーディオ・パワー・アンプ.....	2
図2 SE型オーディオ・パワー・アンプの例.....	3
図3 BTL型オーディオ・パワー・アンプ.....	4
図4 BTL型オーディオ・パワー・アンプの例.....	5
図5 完全差動型オーディオ・パワー・アンプ.....	6
図6 TPA6203A1の出力電力 対 電源電圧.....	7
図7 完全差動型オーディオ・パワー・アンプの例.....	8

1. はじめに

オーディオ・パワー・アンプ設計の際にエンジニアが最もよく頭を悩ませるのが、「使用するゲイン値をどのくらいにすればよいか」(言い換えれば「どのくらいの抵抗値を選択すればよいか」ということです。

このアプリケーション・レポートでは、次に挙げる3種類のアンプのゲイン計算を3つのセクションで説明しています。

- シングルエンド型 (SE) オーディオ・パワー・アンプ
- ブリッジ接続負荷型 (BTL) オーディオ・パワー・アンプ
- 完全差動型オーディオ・パワー・アンプ

1.1. スピーカの電力

各種オーディオ・パワー・アンプ構成について述べる前に、出力電圧、スピーカのインピーダンス、出力電力についての基礎事項をいくつか説明します。

1.2. スピーカのインピーダンス

オーディオ・パワー・アンプ設計の場合、スピーカのインピーダンスはたいてい3 ~ 32 範囲内に収まります。この範囲は、対象アプリケーションの種類(ノートブック・スピーカ、フラット・パネル・スピーカ、携帯電話のスピーカ、ヘッドフォン等)によって決まります。出力電圧 (V_O) は常にRMS値(実効値)として指定されるため、このアプリケーション・ノートでは次の式を使用します。

$$\text{出力電力}(P_O) = \frac{[V_{O(\text{RMS})}]^2}{\text{負荷インピーダンス}(R_L)}$$

ここで、

$$V_{O(\text{RMS})} = \frac{V_{O(\text{PP})}}{2\sqrt{2}}$$

ピーク・ツー・ピーク出力電圧 $V_{O(\text{PP})}$ と、RMS出力電圧 $V_{O(\text{RMS})}$ の関係を理解することは重要です。この関係は、オーディオ・パワー・アンプのゲイン計算に影響してくるためです。

1.3. オーディオ・パワー・アンプのゲイン設定

オーディオ・パワー・アンプへ入力されるCODECまたはDACからの信号をできるだけ大きくしないと高いSNRを得られないため、オーディオ・パワー・アンプのゲインはできるだけ低く設定します。オーディオ・パワー・アンプのゲイン設定が高すぎると、実際に必要なCODECまたはDACの信号ばかりでなくノイズ・フロアも増幅されてしまいます。この結果、信号のダイナミック・レンジが減少し、サウンドの質が低下することになります。

2. シングルエンド型 (SE) オーディオ・パワー・アンプ

2.1. 設計

SE型アンプは最もシンプルな構成であり、ヘッドフォンを駆動する場合やスプリット電圧源を使う場合に使用されます。図1はSE型アンプのブロック図です。

2.2. 式

図1に示すように、SE型アンプにはゲインを供給する反転アンプが付いています。入力抵抗 R_I と帰還抵抗 R_F とアンプのゲインは、次の式のような関係になります。

$$|\text{ゲイン}| = \frac{R_F}{R_I} \quad (\text{入力信号に対する出力信号の位相ずれは}180^\circ)$$

従って、電圧ゲインが10V/Vつまり20dBの場合、 R_F の大きさは R_I の10倍になります。抵抗 R_I と R_F の標準的な値は、 $R_I = 10\text{k}\Omega$ および $R_F = 100\text{k}\Omega$ になります。次のセクションは、SE型オーディオ・パワー・アンプのゲイン計算例です。

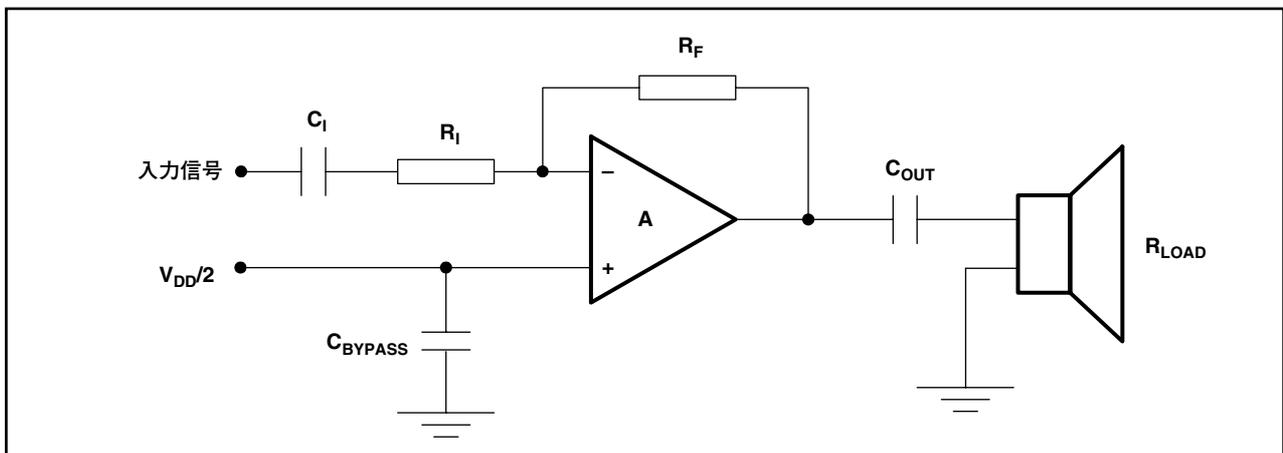


図1. SE型オーディオ・パワー・アンプ

2.3. SE型の例

課題:

あるエンジニアの設計では、スピーカ16Ωに送り込むために必要なRMS出力電力が100mWとなっています。

オーディオ・アンプの電源は5Vであり、最大(ピーク・ツー・ピーク)出力電圧3VのオーディオCODECが接続されています。このアンプを使用して、必要な電力を確実に負荷に供給するためには、アンプのゲイン値をどのくらいにすればよいでしょうか。また、どのくらいの抵抗値を使用すればよいでしょうか。

回答:

最初に出力電力の要件について考えます。まず、100mWでスピーカを駆動するための、負荷にかかる電圧を計算します。計算には次の式を使用します。

$$出力電力(P_o) = \frac{[出力電圧(V_{O(RMS)})]^2}{負荷インピーダンス(R_L)}$$

$$100\text{ mW} = \frac{[V_{O(RMS)}]^2}{16\Omega}$$

したがって、

$$V_{O(RMS)} = \sqrt{0.1 \times 16}$$

つまり、オーディオ・パワー・アンプのRMS出力電圧 $V_{O(RMS)}$ は1.26Vです。

CODECのピーク・ツー・ピーク出力電圧は3Vであるため、これをRMS電圧に変換します。

$$V_{O(RMS)} = \frac{V_{O(PP)}}{2\sqrt{2}}$$

にこの場合の数値を代入すると、

$$V_{O(RMS)} = \frac{3}{2\sqrt{2}} = 1.06\text{ V}$$

となります。

したがって、CODECのRMS出力電圧は1.06V、アンプに必要とされるRMS出力電圧は1.26Vです。アンプのゲインは1.18V/V、つまり1.4dBです。前述の式3を使用すると、次のようになります。

$$|ゲイン| = \frac{R_F}{R_I}$$

にこの場合の数値を代入すると、

$$R_F = 1.18R_I$$

となります。

つまり、 R_I が10kΩ、 R_F が11.8kΩとなります。この結果が、図2のブロック図です。

注：次の式のように、入力カップリング・コンデンサ C_I と入力抵抗 R_I は、カットオフ周波数 f_c のハイパス・フィルタを形成しています。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times C_I \times R_I}$$

所要のオーディオ周波数がハイパス・フィルタで減衰されることのないように、 C_I と R_I の値は慎重に選ぶ必要があります。

この例では、入力コンデンサを0.1μFに設定することにより、169Hzのカットオフ周波数が得られています。

上記のことは、入力カップリング・コンデンサを出力DCブロッキング・コンデンサに置き換えても通用します。スピーカのインピーダンスと出力DCブロッキング・コンデンサを組み合わせてもハイパス・フィルタができるためです。DCブロッキング・コンデンサの値も、低いオーディオ周波数の減衰の原因にならないように選択してください。

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times C_{OUT} \times R_{LOAD}}$$

この例では、出力コンデンサ C_{OUT} を68μFという値に設定して使用した結果、カットオフ周波数が146Hzになっています。これは、入力ハイパス・フィルタのカットオフ周波数に近い値です。

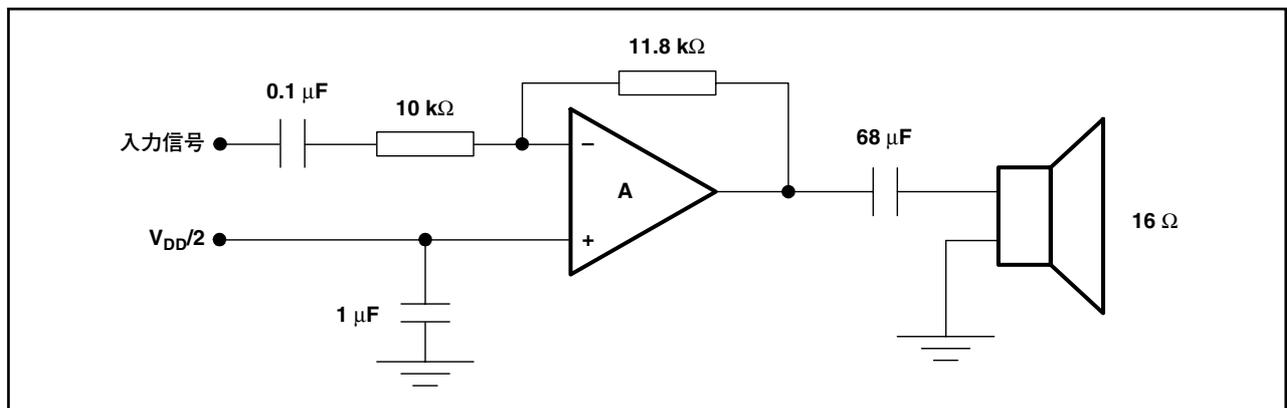


図2. SE型オーディオ・パワー・アンプの例

3. ブリッジ接続負荷型 (BTL) オーディオ・パワー・アンプ

3.1. 設計

BTL型構成は、負荷全体の電圧を倍にするためのインバータ・フォロワ (inverter follower) が組み込まれているという点で、SE型構成とは異なります。このタイプのオーディオ・パワー・アンプは、単電源電圧を使用する際に、その単電源から負荷に供給される電力を最大にするために使用されます。図3はBTL型アンプのブロック図です。

図3に示すように、BTL型アンプにも、SE型アンプにゲインを供給する反転アンプと同じものが付いています。ただし、ゲイン・アンプからの出力信号を反転するためのインバータ・フォロワも追加されているために、負荷にかかる電圧が倍になっています。この結果、負荷への電力がSE型構成の4倍となっています。

3.2. 式

入力抵抗 R_I と帰還抵抗 R_F により、アンプの電圧ゲインが決定されます。

ただしBTL型アンプの場合には、次に示すように関係が変化します。

$$|\text{ゲイン}| = 2 \frac{R_F}{R_I} \text{ (入力信号に対する出力信号の位相ずれは } 180^\circ \text{)}$$

したがって、電圧ゲインが10V/Vつまり20dBの場合、 R_F の大きさは R_I の5倍にしかならないはずで

次のセクションは、BTL型オーディオ・パワー・アンプのゲイン計算例です。

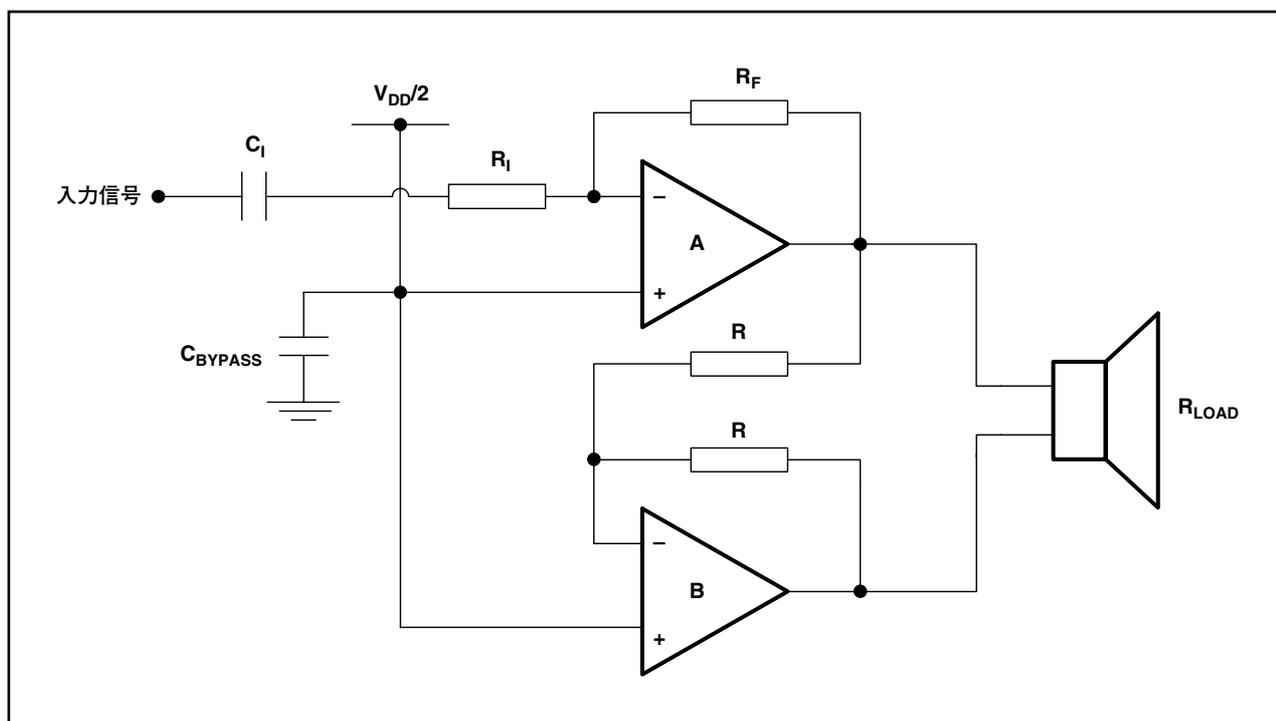


図3. BTL型オーディオ・パワー・アンプ

3.3. BTL型の例

課題：

あるエンジニアの設計では、スピーカ4に送り込むために必要なRMS出力電力が2Wとなっています。

オーディオ・アンプの電源は5Vであり、最大(ピーク・ツー・ピーク)出力電圧3VのオーディオCODECが接続されています。このアンプを使用して、必要な電力を確実に負荷に供給するためには、アンプのゲイン値をどのくらいにすればよいでしょうか。また、どのくらいの抵抗値を使用すればよいでしょうか。

回答：

最初に出力電力の要件について考えます。まず、2Wでスピーカを駆動するための、負荷にかかる電圧を計算します。計算には次の式を使用します。

$$出力電力(P_o) = \frac{[出力電圧(V_o(RMS))]^2}{負荷インピーダンス(R_L)}$$

$$2W = \frac{[V_o(RMS)]^2}{4\Omega} \text{ したがって、}$$

$$V_o(RMS) = \sqrt{2 \times 4}$$

つまり、オーディオ・パワー・アンプのRMS出力電圧 $V_o(RMS)$ は2.83Vになるはずですが。

CODECのピーク・ツー・ピーク出力電圧は3Vであるため、これをRMS電圧に変換します。

$$V_o(RMS) = \frac{V_o(PP)}{2\sqrt{2}} \text{ にこの場合の数値を代入すると、}$$

$$V_o(RMS) = \frac{3}{2\sqrt{2}} = 1.06V \text{ となります。}$$

したがって、CODECのRMS出力電圧は1.06V、アンプに必要なとされるRMS出力電圧は2.83Vです。アンプのゲインは2.67V/V、つまり8.5dBです。前述の式4を使用すると、次のようになります

$$|ゲイン| = 2 \frac{R_F}{R_I} \text{ にこの場合の数値を代入すると、}$$

$$R_F = 1.33R_I \text{ となります。}$$

つまり、 R_I が10k Ω 、 R_F が13.3k Ω となります。この結果が、図4のブロック図です。

注：入力カップリング・コンデンサ C_I と入力抵抗 R_I は、ハイパス・フィルタを形成しています。所要のオーディオ周波数がハイパス・フィルタで減衰されることのないように、 C_I と R_I の値を選ぶ必要があります。

この例では、入力コンデンサを0.1 μ Fに設定することにより、169Hzのカットオフ周波数が得られています。

図4では、SE構成で使用されていたDCブロッキング・コンデンサが省かれていることに注意してください。

両方の出力に同じDC電圧へのバイアスがかけられており、スピーカがグランド基準でなくなっているため、DCブロッキング・コンデンサも不要になっています。入力コンデンサと抵抗のみで、システムの周波数応答の低下に歯止めをかけています。

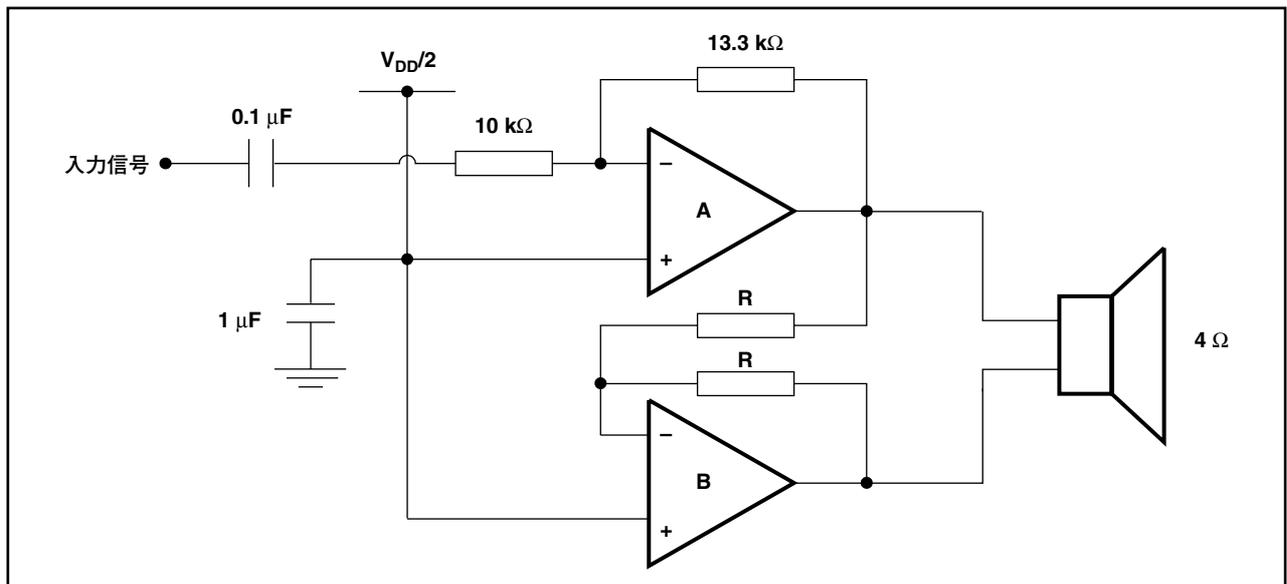


図4. BTL型オーディオ・パワー・アンプの例

4. 完全差動型オーディオ・パワー・アンプ

4.1. 設計

完全差動型の構成は、標準的なBTL型構成とは異なっています。負荷全体の電圧を倍にするためのインバータ・フォロワはありません。ただし差動アンプであるため、負荷への出力電力は標準的なBTLアンプと同等であり、しかも入力でも出力でもBTL構成よりノイズ耐性が強いというメリットを備えています。完全差動型のオーディオ・パワー・アンプでは、標準的なBTL型アンプ同様の方法で単電源から負荷への電力を最大限にし、携帯電話やスマートフォンといったノイズの多い環境で非常にすぐれたパフォーマンスを示します。図5は、完全差動型アンプのブロック図です。

図5に示すように、このアンプはゲインを供給する完全差動型アンプひとつで構成されています。前述のように、差動電圧の振幅は負荷全体にわたるため、標準的なBTL型アンプの場合同様、結果として負荷への電力が4倍になります。

4.2. 式

入力抵抗 R_I と帰還抵抗 R_F により、アンプの電圧ゲインが決定されます。

ただし完全差動型アンプの場合には、次に示すように関係が変化します。

$$|\text{ゲイン}| = \frac{R_F}{R_I}$$

したがって、電圧ゲインが10V/Vつまり20dBの場合、 R_F の大きさは R_I の10倍にしなければならないはずです。

次のセクションは、完全差動オーディオ・パワー・アンプのゲイン計算例です。

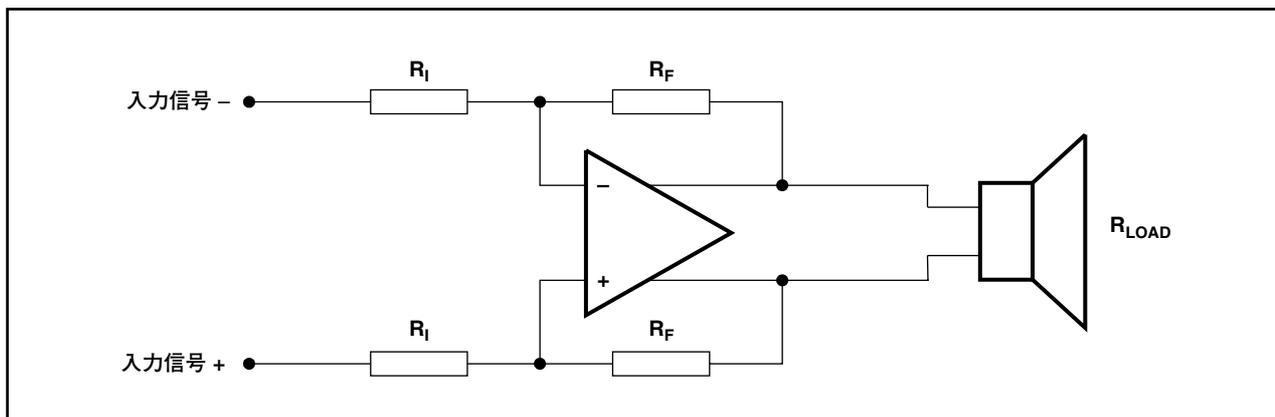


図5. 完全差動型オーディオ・パワー・アンプ

4.3. 完全差動型の例

課題：

あるエンジニアの設計では、TPA6203A1のRMS電力を最大にして標準的なスピーカ8に送り込み、かつTHD+Nを10%より低くしておく必要があります。オーディオ・アンプは、変動範囲4.2V~3Vのバッテリーから電源を取っています。アンプへの入力は、最大(ピーク・ツー・ピーク)出力電圧1.8VのオーディオCODECです。THD+Nを10%より低い値に抑えながら、TPA6203A1の最大電力を確実に負荷に供給するためには、ゲイン値をどのくらいにすればよいでしょうか。

回答：

最初に、THD+Nを10%と想定して、3V電源の出力電力を計算します。下限である3Vの電源電圧を選択することが重要です。上限である4.2Vの電源でゲインを計算している最中にバッテリーが3Vまで低下するようなことがあれば、アンプの出力信号でクリップが生じて、THD+Nが当初の予想よりも高くなる可能性があるためです。

図6の「出力電力対電源電圧のグラフ」から読み取れる、THD+Nが10%で電源が3Vの場合に必要な出力電力は、550mWです。

$$出力電力(P_o) = \frac{[出力電圧(V_{O(RMS)})]^2}{負荷インピーダンス(R_L)}$$

$$0.55mW = \frac{[V_{O(RMS)}]^2}{8\Omega} \text{したがって、}$$

$V_{O(RMS)} = \sqrt{4.4}$ つまり、オーディオ・パワー・アンプのRMS出力電圧 $V_{O(RMS)}$ は2.83Vになるはずですが。

CODECのピーク・ツー・ピーク出力電圧は1.8Vであるため、これをRMS電圧に変換します。

$$V_{O(RMS)} = \frac{V_{O(PP)}}{2\sqrt{2}} \text{にこの場合の数値を代入すると、}$$

$$V_{O(RMS)} = \frac{1.8}{2\sqrt{2}} = 0.64V \text{となります。}$$

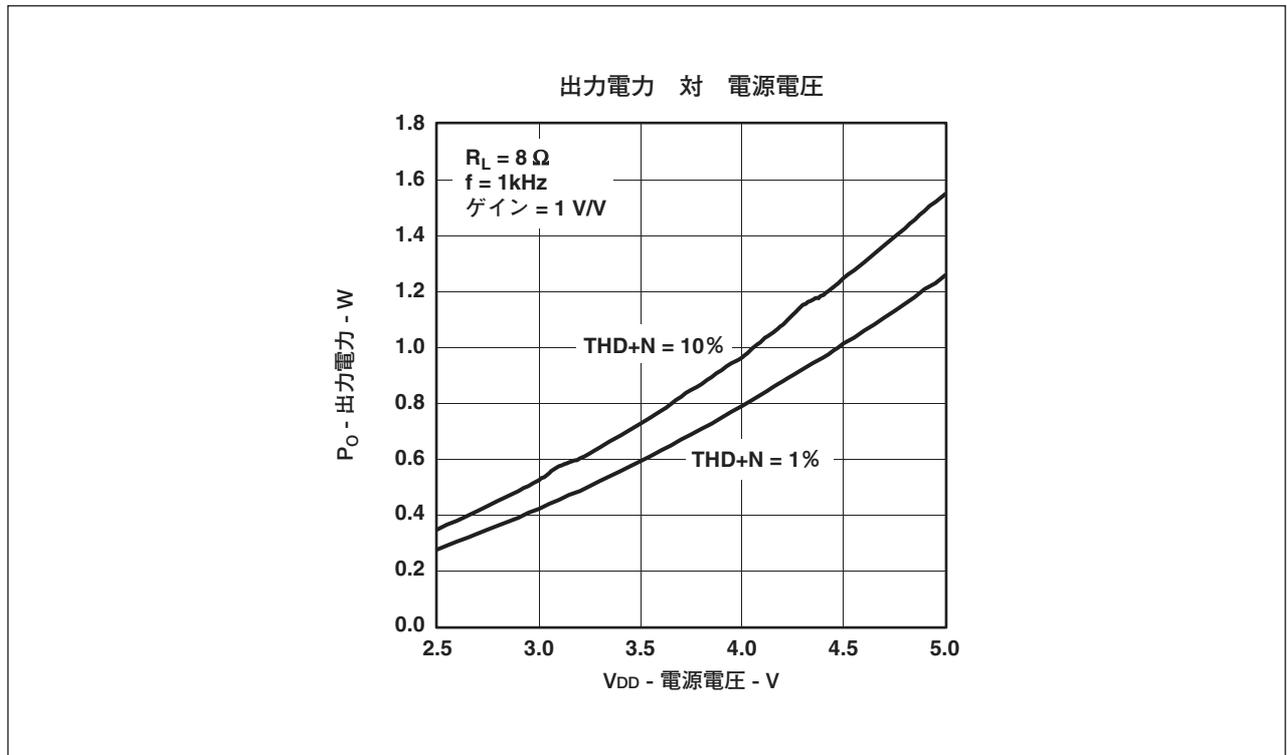


図6. TPA6203A1の出力電力 対 電源電圧

したがって、CODECのRMS出力電圧は0.64V、アンプに必要なとされるRMS出力電圧は2.1Vです。アンプのゲインは2.67V/V、つまり8.5dBです。前述の式4を使用すると、次のようになります。

$$|\text{ゲイン}| = 2 \frac{R_F}{R_I}$$

にこの場合の数値を代入すると、

$R_F = 3.28R_I$ となります。

つまり、 R_I が10k Ω 、 R_F が約3.28k Ω となります。32.8k Ω という値が標準的な値でないことを考慮すると、それに最も近い使用可能な値は33.2 k Ω となります。この結果が、図7のブロック図です。

注：オーディオ・パワー・アンプでは、 R_F がアンプに組み込まれていることがあります。その場合は、データシートに記載された値を R_F の値として設定できます。また、必要なゲインを設定するために R_I を選択します。

各抵抗も、たいていの場合には1%以上の値に整合させる必要があります。抵抗の整合がよくとれているほど、アンプの電源電圧変動除去比 (PSRR) も向上するためです。

5. 結論

オーディオ・パワー・アンプのゲイン計算では、アンプに必要なゲインを計算する時に、必ず正確なRMS値を使用することが大切です。また、入力/出力カップリング・コンデンサを使用する際にハイパス・フィルタが形成されることを覚えておく必要もあります。 R_I 、 C_I 、 C_{OUT} を選択する際には、所要のオーディオ周波数が上記フィルタを必ず通過するように配慮することが重要です。

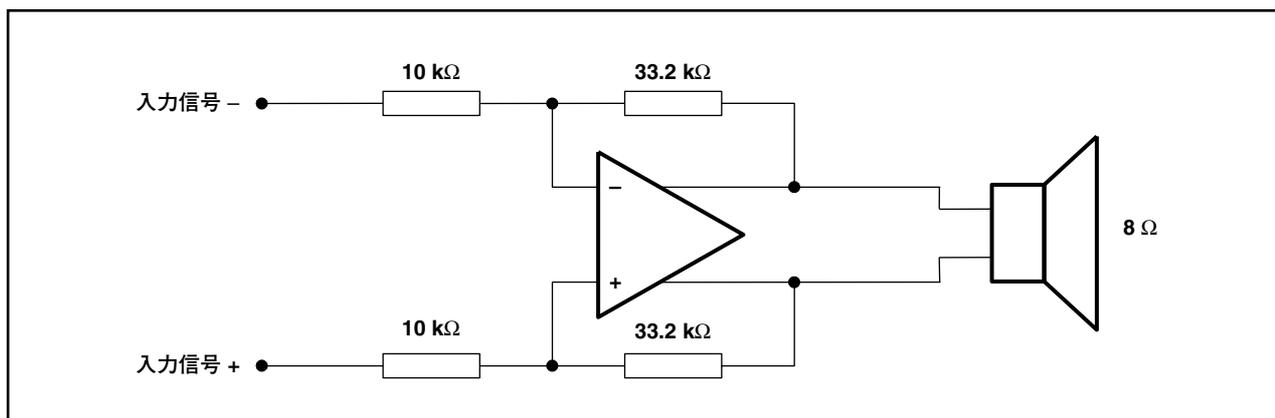


図7. 完全差動型オーディオ・パワー・アンプの例

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは承認をすることを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。

弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。

マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。

前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

温度: 0~40、相対湿度: 40~85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

はんだ付け時は、最低限260以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上