

# オンチップ薄膜抵抗で実現する高性能オーディオ回路

Tyler Noyes, John Caldwell, Alexander Davis



## 概要

高性能回路の設計では、信号経路の能動部品と受動部品を慎重に選ぶ必要があります。高性能集積回路を採用すれば高性能システムを確実に実現できると設計者は通常考えます。しかし、コストを最小限に抑えることだけを考慮して受動部品を選定すると、システムの性能が大きく低下する可能性があります。小型、低歪み、優れたマッチングを必要とするオーディオ製品では、オンチップ薄膜抵抗 (TFR) のほうがディスクリート抵抗より優れた性能をもたらす場合があります。

## 最新のアンプ・アーキテクチャ

TFR を形成するには、まず抵抗物質の薄い層 (通常は金属合金) をシリコン・ウエハなどの基板に蒸着します。次にリソグラフィを使い、その抵抗層をパターンニングして既知の抵抗値を持つ領域 (リンクとも呼ぶ) を作成します。2 つの抵抗を厳密に一致させるために、それぞれを多数のリンクに分けて並列接続します。各抵抗を構成する抵抗リンクを互いにかみ合わせるようにウエハ上に配置することで、事実上 2 つの抵抗をウエハ上の同じ場所に配置できます。こうすることで、薄膜抵抗物質がウエハ上でばらついたとしても 2 つの抵抗に均等に影響するようにします。図 1 に、このプロセスの一例を示します。

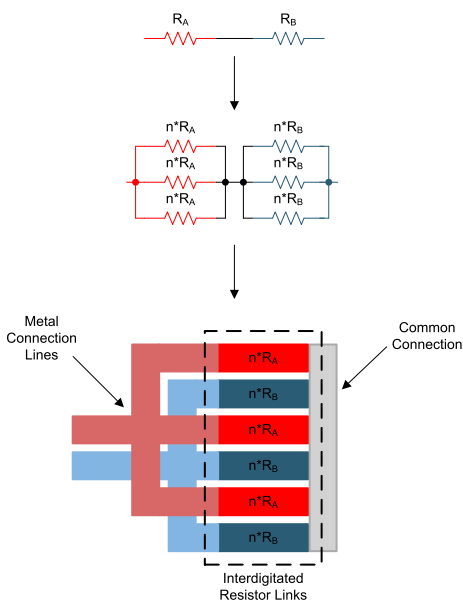


図 1. TFR ネットワークにより抵抗値の整合を実現

最新の半導体レイアウト手法とチップの寄生抽出シミュレーションを組み合わせることで、このプロセスは、マッチング特性が優れた抵抗アレイをレーザー・トリミングなしで製造することを可能にします。例えば、INA1620 はデュアル・オペアンプと 4 つの薄膜抵抗アレイを統合しています。各アレイは、分圧器として接続された 2 つの 1kΩ 抵抗から成ります。これらの抵抗のマッチング誤差は通常 0.005% 未満です。

## 薄膜抵抗を内蔵した差動アンプ回路における CMRR の向上

TFR が実現する優れたマッチング特性は、多くのオーディオ回路に役立ちます。ライン・レシーバ、マイク・プリアンプ、オーディオ・デジタル / アナログ・コンバータ (DAC) の出力回路はすべて、厳密に一致した抵抗から恩恵を受けます。同相信号除去比 (CMRR) の向上は、TFR ペアを内蔵することの利点のひとつです。図 2 に示す標準的なオーディオ DAC 出力回路の CMRR は、DAC 出力回路の抵抗の一致精度で決まります。

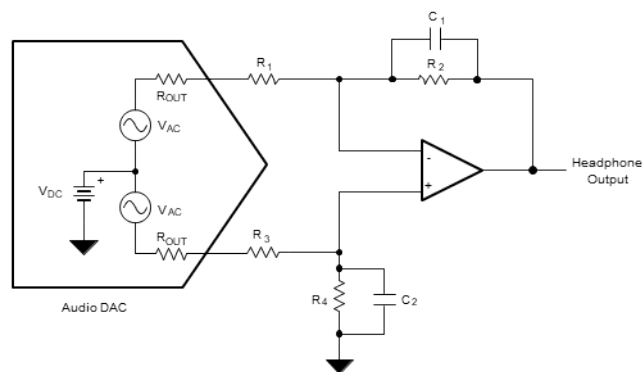


図 2. オーディオ DAC の出力回路

INA1620 と OPA1622 を使用して、この構成で CMRR を測定しました。図 3 に、その結果を示します。

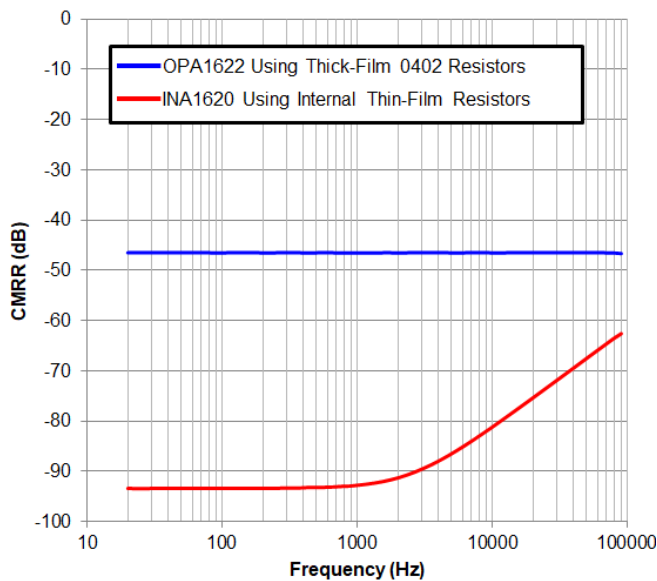


図 3. CMRR と周波数との関係

CMRR の絶対値が大きいほど、アンプの同相信号除去特性は優れています。薄膜プロセスの抵抗は比精度が非常に優れているため、その CMRR は、標準的な抵抗を使った場合より大幅に向上する可能性があります。表 1 に、抵抗の許容誤差が CMRR に与える影響を示します。このテストで使用した INA1620 はほぼ 93dB の CMRR を示しており、これは 0.001% の抵抗マッチングに相当します。INA1620 の最悪条件での抵抗マッチングは 0.02% であり、74dB の CMRR に相当します。CMRR が差動アンプに与える影響については、xx を参照してください。

表 1. 抵抗の許容誤差に基づく最悪条件の CMRR

抵抗の許容誤差	最悪条件の CMRR (dB)
10.000%	14
5.000%	20
1.000%	34
0.010%	74
0.001%	94

内蔵 TFR による歪みの改善

高調波歪みとは、音質は低下させる不要な周波数成分が追加されることです。ディスクリート部品によって生じる歪みへの悪影響はとかく無視されやすいものです。通常、設計者の関心の大部分はアンプに対して払われるためです。優れた歪み特性を目標に設計する場合、オーディオ回路を取り巻くディスクリート部品について検討することは非常に重要です。

薄膜抵抗と厚膜抵抗は、製造プロセスが異なるため、特性も大きく異なります。薄膜抵抗は真空蒸着プロセスで作成されるため、はるかに小さな温度係数と低ノイズを実現できます。図 2 と同じデバイスおよび構成を使用して、2 つのデバイスの THD+N を測定しました。図 4 に、その結果を示します。厚膜抵抗では、歪みの値が薄膜抵抗より 6dB 悪くなっています。これは、回路の THD+N に抵抗が大きく影響する可能性があることを示しています。

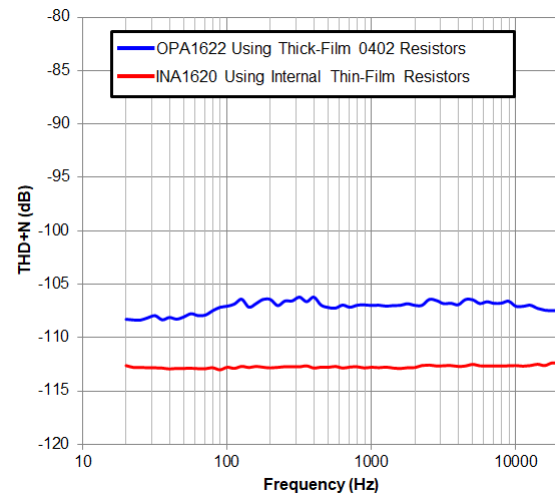


図 4. THD+N と周波数との関係

その他の資料

表 2. 薄膜抵抗を内蔵した TI のオーディオ・アンプ

デバイス	概要
INA1620	ヘッドホン・アンプ: バイポーラ入力 2.8nV/√Hz、THD+N -119dB、GBW 32MHz、内蔵抵抗マッチング 0.004%
INA1650	差動ライン・レシーバ: ノイズフロア -104.7dBu、THD+N -120dB、CMRR 91dB、差動入力インピーダンス 1MΩ

表 3. 関連資料

資料番号	記事名
SBOT041	『EMI-Hardened Operational Amplifiers Reduce Inaccuracies』(英語)
SBOA274	『差分アンプ (減算器) 回路』

## 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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 ([www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html](http://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html))、または [ti.com](http://ti.com) やかかる TI 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。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。

Copyright © 2019, 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

## 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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 ([www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termssofsale.html](http://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termssofsale.html))、または [ti.com](http://ti.com) やかかる TI 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。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。

Copyright © 2019, 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