

# オフセット補正手法:レーザー・トリミング、e-Trim™、チョツパ

Ying Zhou, Art Kay



## 概要

アンプの入力オフセット電圧は多くの場合、設計精度の主要なパラメータであり、これを最小化するためにさまざまな回路手法が採用されています。さまざまなトリミングおよびオフセット補正手法を知ることで、個々の用途に合ったアンプを選定しやすくなります。

### レーザー・トリミング:ウエハ・レベルのトリミング

各アンプは数十～数千個のトランジスタ、抵抗、コンデンサで構成されています。入力オフセット誤差が生じる原因は、各アンプにおける入力トランジスタのミスマッチ (ばらつき) にあります。図 1 にオペアンプ・ダイの写真を示します。ハイライト表示した領域は薄膜抵抗を示しています。ウエハ・レベルのテスト工程で、レーザーにより抵抗物質をカットしていき、ダイの抵抗値を上げて調整します。

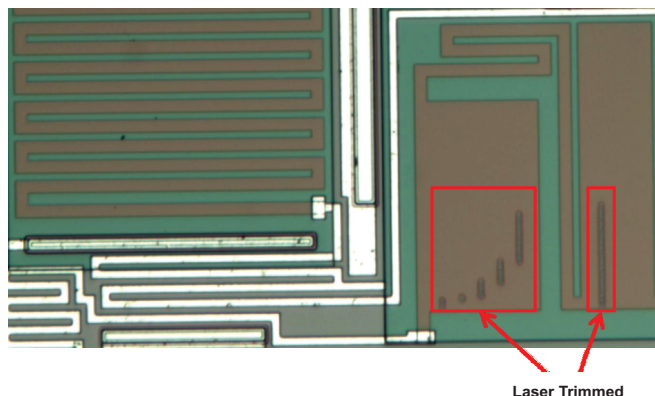


図 1. 薄膜抵抗のレーザー・トリミング

このトリミングは実際にはデバイス動作中にレーザーを照射しながら行うことができます。つまり、オフセット電圧がゼロになるまで監視しながら抵抗値を調整できます。ウエハ・レベルのトリミングによって極めて高い精度を達成できます。しかし、ウエハを個々のダイに切り分け、パッケージに封止すると、ダイに加わるすべての物理的応力がオフセット電圧に若干の変動を生じさせる可能性があります。

レーザー・トリミングは、バイポーラ・ウエハ・プロセスで製造される IC のトリミング手法として有用です。レーザー・トリミングは、同相信号除去比 (CMRR) 性能を最適化しながらゲイン誤差を最小化する上で重要な抵抗のマッチングを改善するために、オペアンプのみならず差動アンプと計測アンプにも広く用いられています。INA826S はレーザー・トリミングを採用して高い DC 精度と小さい静止電流を達成した計測アンプであり、オフセット電圧は 150 $\mu$ V、ドリフトは 2 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C、静止電流は 250 $\mu$ A です。さらに、シャットダウン機能も備えており、小型 (3mm x 3mm) の DFN パッケージで供給されるため、サーキット・ブレーカ、携帯用医療機器、試験装置など、低消費電力が要求される用途に適しています。

### e-Trim™: パッケージ・レベルのトリミング

オフセット電圧およびドリフトを小さくするために使用するもう 1 つの手法は e-Trim です。これは、デバイスを実装したパッケージに封止してから実施する TI の特許取得済みトリミング・アーキテクチャです。パッケージ・レベルの最終製造テスト中に、デバイスに内蔵された補正電流源を調整します。トリミングが完了するとトリム回路へのゲートウェイが閉じるため、トリム制御回路はディセーブルされ、調整は固定されます。図 2 に e-Trim 方式を図示します。

このポリシリコン・ヒューズ・ブロー手法は、ピンやテスト・パッドを別途必要とせず、ウエハ・レベルのトリミングを上回る大幅な性能向上を実現します。また、パッケージ・ストレスに起因するパラメータの変動を回避できるため、ゼロドリフト・アンプならではの優れた精度が得られ、パッケージの小型化も可能です。

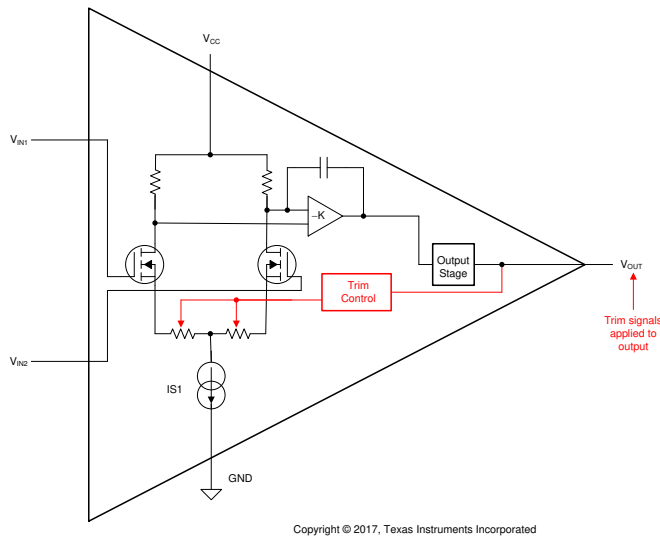


図 2. パッケージ・レベルの e-Trim

OPA2191 は e-Trim アンプ・ファミリの最新製品であり、オフセット電圧は 25 $\mu$ V (最大値)、ドリフトは 0.8 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C (最大値)、静止電流はアンプ当たり 200 $\mu$ A とわずかです。

チョッパ: 動的な補正

オフセット電圧およびドリフトを補正する 3 つ目の手法は、トリミング方式ではなく、ゼロドリフト・アンプによるものです。チョッパは一般的なゼロドリフト・アンプで、内蔵する動的補正方式によりオフセット電圧を最小化します。図 3 に、一般的なチョッパ・アーキテクチャの図を示します。最初のトランスコンダクタンス段の入出力には 1 組のスイッチがあり、補正サイクルごとに 1 回、入力信号の極性を入れ替えます。時間経過および温度変化に伴うドリフトはゼロに平均化されます。この特性は、従来型アンプで生じた超低周波の 1/f ノイズも除去します。これらの特長から、チョッパ・アンプは重量計、歪みゲージ、温度測定などの DC (または低周波) 信号コンディショニングに非常に便利です。OPA2187 はチョッパの一例であり、オフセット電圧は 10 $\mu$ V (最大値)、ドリフトは 0.05 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C (最大値)、低周波ノイズ (0.1Hz~10Hz) は 0.4 $\mu$ V<sub>PP</sub> でアンプ当たりの静止電流はわずか 145 $\mu$ A (最大値) です。

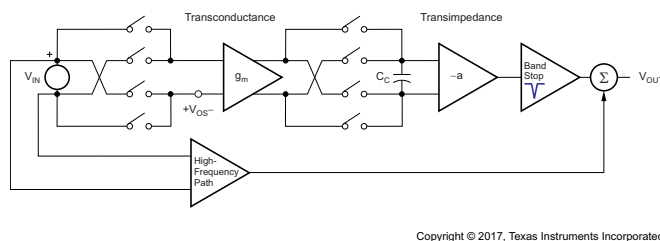


図 3. 一般的なチョッパ・アンプの図

ただし、チョッパ・アンプではスイッチを開閉するため、電荷注入によって余計なノイズ成分を生じることがあります。これにより、ソース・インピーダンスが高い用途や高抵抗値を使用して信号を増幅している場合には、入力バイアス電流のスパイクが誘発され、電圧スパイクに変換されることがあります。したがって、医療用計測機器などの温度範囲が小さい用途では、入力バイアス電流が極めて小さいアンプを高いソース・インピーダンスに組み合わせることのほうが、ドリフトをほぼゼロにすることよりも重視されることがあります。そのような場合、バイアス電流が 20pA (最大値) である OPA2191 のほうが、オフセット・ドリフトははるかに小さくともバイアス電流が 350pA (最大値) である OPA2187 よりも適していることがあります。

まとめ

表 1 に、3 つのオフセット補正手法の比較を示します。本書を参考にして、個々の低オフセット・低ドリフト回路のニーズに合ったアンプを選定してください。

表 1. レーザー・トリミング、e-Trim、チョッパの比較

デバイス	補正手法	利点	欠点
INA826S OPA145 OPA2325	レーザー・トリミング	全温度範囲にわたりシンプルな製造フロー	パッケージング後のパラメータ変動
OPA2191 OPA2192 OPA2376	e-Trim	パッケージングによるパラメータ変動なし	温度依存性を考慮した複雑な製造フロー
INA188 OPA189 OPA2187 OPA388	チョッパ	ドリフトが極めて小さい、1/f ノイズなし	ソース・インピーダンスが高い場合、バイアス電流スパイクにより問題を生じる可能性あり

表 2. 関連ブログ記事および資料

ビデオ	『Op Amp Technology Overview』(英語)
Precision Hub Blog (英語)	『How does package level trim compare to other offset correction methods?』(英語)
Precision Hub Blog (英語)	『Trimmed or chopped: How do you like your op amp?』(英語)
EDN Analog Design Post (英語)	『Pushing the precision envelope – Understanding the precision challenge in operational amplifiers』(英語)

## 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