

Application Brief

ディスクリート プログラマブル ゲイン アンプ (PGA) に最適なマルチプレクサの選択



Nikhil Kanzarkar

はじめに

プログラマブル ゲイン アンプ (PGA) は、デジタルまたはアナログ信号によって増幅率を制御できる電子アンプです。PGA は、電子回路の基本要素であるマルチプレクサとアンプの二つを組み合わせたものです。PGA の最も一般的な使用例は、データ収集システムからモータドライブまで多岐にわたります。一般的に、PGA は入力センサ信号の増幅率を切り替えて信号を適切に増幅し、次のシステム部品へ送る必要がある場合に最も有効です。マルチプレクサは、異なる増幅率の切り替えを可能にし、増幅レベルを調整します。本書では、PGA にマルチプレクサが使用される理由と、PGA に最適なマルチプレクサを選ぶ際に考慮すべき重要な 2 つのパラメータ、オン容量 (C_{ON}) とオン抵抗 (R_{ON}) について説明します。

マルチプレクサを選択する理由

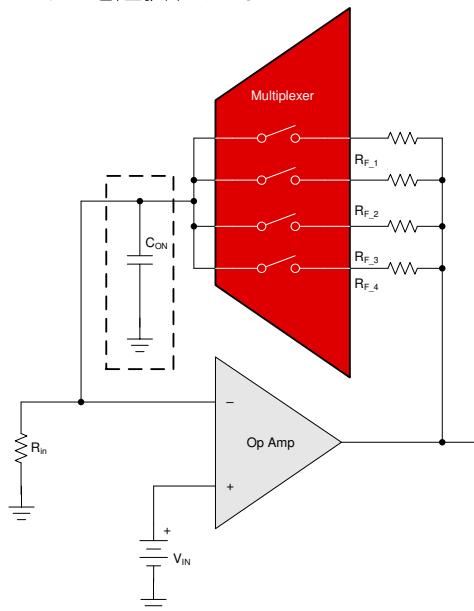


図 1. 基本的なディスクリート PGA の回路モデル

異なる増幅率を得るためには、図 1 に示すフィードバック抵抗 (R_f) の値を、非反転オペアンプの式 1 で規定されている必要な増幅率に応じて変化させる必要があります。

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \quad (1)$$

この抵抗値の変化は、マルチプレクサを使って実現できます。マルチプレクサにより、システム設計者は異なるフィードバック抵抗 (R_f) 値を切り替えることができ、複数の増幅率を実現できます。マルチプレクサはさまざまな構成で提供されており、システム設計者に必要な増幅率の柔軟性を与えるため、PGA 内部でのコスト効果の高い設計として最適です。

小さいオン容量

安定性の問題は、図 1 に示すように、オペアンプの帰還抵抗とオン容量の寄生相互作用に起因する可能性があります。マルチプレクサのオン容量は、マルチプレクサの出力信号に発振を引き起こすことがあり、これが増幅信号の信頼性に悪影響を与える可能性があります。そのため、TMUX1511 のような小さいオン キャパシタンス (C_{ON}) を持つマルチプレクサを選ぶことで、信号の歪みを最小限に抑え、出力されるアンプ信号の品質と精度を向上させることができます。

例えば、1:1 スイッチの単一チャンネルは通常、約 40pF の容量を持っています。したがって、4 つのチャンネルすべてが導通しているとき、フィードバックパスの合計 C_{ON} は 160pF になる可能性があります。しかし、TMUX1511 のようなオン容量 (C_{ON}) 2.5pF の低 C_{ON} マルチプレクサを使用すると、4 チャンネルすべて導通時でも合計フィードバック容量はわずか 10pF となります。このように帰還容量が大幅に小さいため、図 2 に示すように、信号の発振が最小限に抑えられ、増幅された信号への全体的な影響は最小限に抑えられます。詳細については、低 C_{ON} マルチプレクサでの安定性の問題の改善を参照してください。

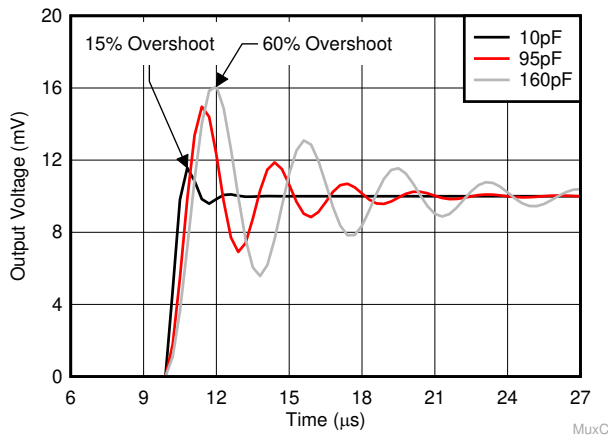


図 2. オペアンプの不安定性

低オン抵抗

信号の増幅における信号の信頼性を最大化するために、マルチプレクサのオン抵抗はできるだけ低く抑える必要があります。オン抵抗 (R_{ON}) が高く、 R_{ON} のフラットネス範囲が広いほど、ゲイン誤差が大きくなり、出力信号の歪みが増加します。マルチプレクサのゲイン誤差は、マルチプレクサの R_{ON} が大きくなると増加します。たとえば、図 1 の回路のゲイン誤差は、式 2 を使用して計算できます。

$$G_{\text{error}} = \frac{R_{ON}}{R_{in} + R_f} \times 100 \quad (2)$$

このゲイン誤差の計算は非反転回路を前提としており、他のゲイン誤差に影響する要素は考慮していません。計算は基本的にオン抵抗 R_{ON} に着目しています。表 1 に示すように、ゲイン誤差は、 R_{ON} が 2Ω から 120Ω に増加すると、0.18% から 10.90% に増加します。また、 R_f は R_{ON}

その他資料

- テキサス インスツルメンツ、[TI プレジジョン ラボ - スイッチとマルチプレクサ: オン抵抗の平坦性とオン容量](#) ビデオを参照してください。
- テキサス インスツルメンツ、[TI プレジジョン ラボ - オペアンプ: 安定性](#) ビデオ。
- テキサス インスツルメンツ、[低 \$C_{ON}\$ マルチプレクサにおける安定性の問題の改善](#) アプリケーション ブリーフ

と直列になるため、 R_{ON} の値の変化による影響は、ゲインに比べて線形になります。最後に、表 1-1 のゲイン誤差を計算する場合、イネーブルになっている信号路と、 $R_{IN} = 100\Omega$ 、 $R_f = 1k\Omega$ の値が仮定されています。

オン抵抗とオン容量の関係

一般に、低い R_{ON} 値と低い C_{ON} 値の間でのトレードオフがあります。低い R_{ON} を実現するには、電流が最小限の中断で通過できるように、マルチプレクサ ダイのサイズを広くする必要があります。ただし、ダイのサイズが大きくなると、オン静電容量も大きくなります。低いオン静電容量は、マルチプレクサのソースからドレインまでの距離が短いことによる結果です。したがって、 C_{ON} と R_{ON} のシステムへの影響を考慮して、設計に推奨されるマルチプレクサが選択されるように、システム設計者は確認する必要があります。前述の **TMUX1511** は、 R_{ON} が小さく (2Ω)、 C_{ON} ($3.3pF$) が小さいマルチプレクサの例です。

まとめ

本書では、PGA にマルチプレクサが使用される理由と、重要なマルチプレクサのパラメータであるオン静電容量とオン抵抗について説明します。マルチプレクサは異なるフィードバック抵抗 (R_f) 値を切り替えるために使用され、これにより同じオペアンプで異なる増幅率を実現できます。適切なマルチプレクサを選ぶ際に注意すべき重要なパラメータは、オン静電容量とオン抵抗です。オン静電容量が低いほど、信号の発振や歪みが減少し、出力信号の精度が向上します。オン抵抗が低いとゲイン誤差が小さくなるため、信号の精度が向上します。最後に、システム設計者は、 C_{ON} と R_{ON} の関係を考慮して、設計で選択するマルチプレクサが確実に選択されるようにする必要があります。

表 1. ゲイン誤差の比較とデバイスの比較

デバイス	構成	チャネル数	R_{ON}	C_{ON}	ゲイン誤差	マルチプレクサ対応 オペアンプ
TMUX1511	1:1	4	2 Ω	3.3pF	0.18%	OPA2392
TMUX1108	8:1	1	2.5 Ω	65pF	0.23%	
TMUX6112	1:1	4	120 Ω	4.2pF	10.90%	TLV9351
TMUX5412	1:1	4	20 Ω	8pF	1.8%	

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