

## Application Brief

## フェーズド アレイ衛星向けのコンパクトなグランドレベル変換を実現



Joshua Salinas

## 概要

これまで、宇宙および防衛システムは、レーダー、GPS、衛星通信といった多くの通信イノベーションを牽引してきました。より広帯域かつ信頼性の高い接続への要求が高まるにつれ、従来の機械駆動式アンテナからフェーズド アレイ アンテナへの移行が急速に進んでいます。物理的に回転してビームを指向させる従来のアンテナとは異なり、フェーズド アレイ システムは各アンテナ素子の位相を電子的に調整することで、通信ビームを高速に制御し、複数のユーザーとの同時通信をサポートします。

しかし現代のフェーズド アレイ衛星は、図 1 に示すように数百から数千もの送受信パスを備えている場合があります。図 2 に示すように、各パスにはパワー アンプ (PA)、低ノイズ アンプ (LNA)、位相シフタ、および関連する制御回路が含まれます。このアーキテクチャはビーム ステアリング能力と通信容量を劇的に向上させますが、同時に必要とされる制御信号やステータス信号の数を増加させます。これらの制御信号やステータス信号は、異なる電圧ドメイン間で動作しなければならないことが少なくありません

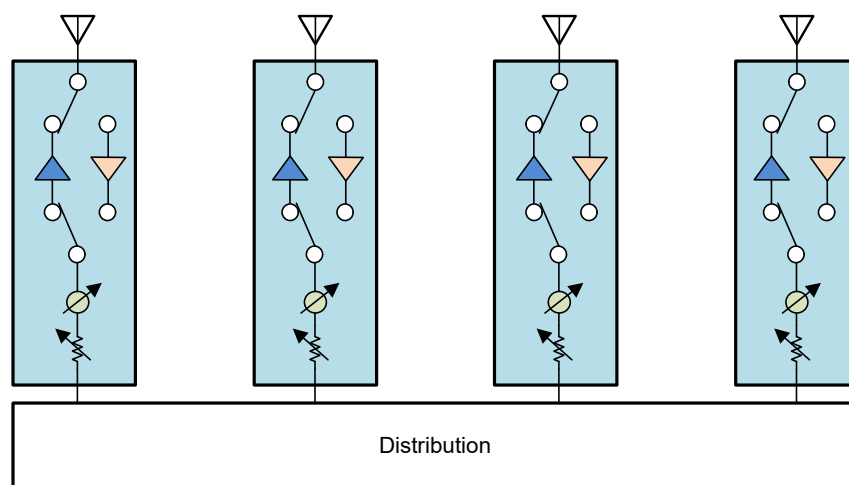


図 1. アレイ内のアンテナ

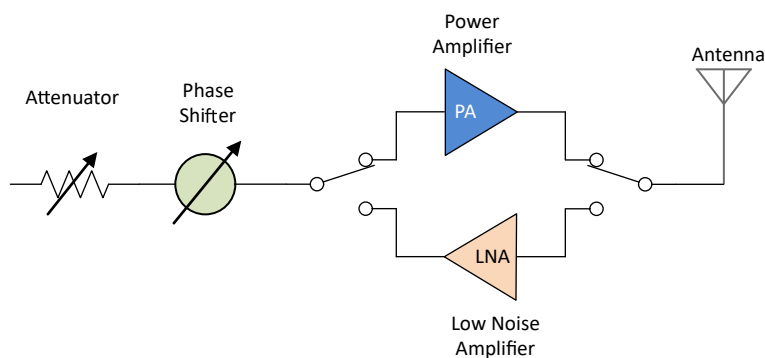


図 2. フェーズド アレイ アンテナ

## シングル電源とデュアル電源のパワー アンプの比較

パワー アンプの主な利点のひとつは、出力歪みを最小限に抑えながら高レベルの増幅を行える点にあります。信号振幅とダイナミックレンジを最大化するため、フェーズド アレイシステムでは、図 3 に示すようなデュアル電源構成でアンプを動作させることがよくあります。シングル電源構成でパワー アンプをイネーブルする場合、EN 電圧がグランド基準の最小入力高電圧 ( $V_{IH}$ ) を超えさえすれば問題ありません。しかし、デュアル電源構成では、EN の基準が GND から  $V_{EE}$  へとシフトします。

たとえば、シングル電源構成のアンプをイネーブルにするのに 1.26V 超、ディスエーブルにするのに 0.54V 未満が必要だとすると、デュアル電源構成ではこれらのスレッショルド電圧が  $V_{EE}$  の分だけスライドすることになります。 $V_{EE}$  に -5V を使用すると仮定した場合、新たなイネーブル電圧は -3.74V、ディスエーブル電圧は -4.46V となります。

これにより、通常は負電圧の生成も許容もできない現代のマイコンや FPGA にとって、大きな課題が生じることになります。

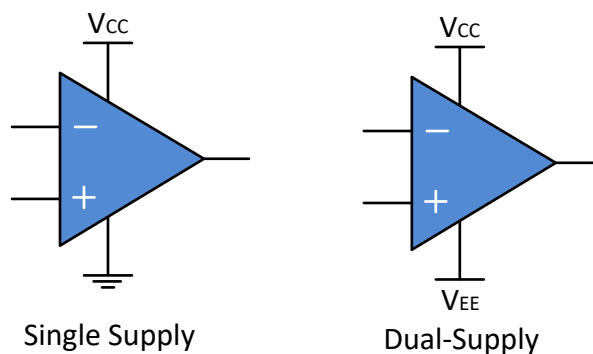


図 3. オペアンプのシングル電源およびデュアル電源の構成

## 負の制御信号とスペース制約の対処

これらの課題を克服するために、エンジニアは多くの場合、ディスクリート ベースの設計に頼ります。図 4 は、正のマイコン制御信号を、デュアル電源アンプで必要とされる負電圧ドメインに変換するために使用される一般的なディスクリート実装を示しています。

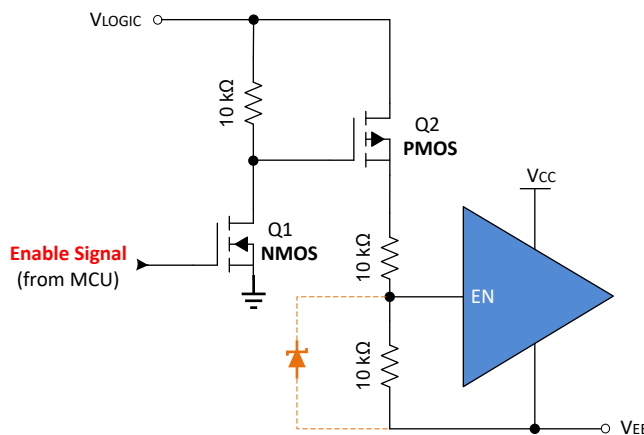


図 4. ディスクリート レベル シフトをイネーブル

イネーブル ピンに加えて、多くのアンプは、過電流や過熱イベントなどの故障状態を示すアラートまたはステータス出力を提供します。これらの出力は通常、プルアップ抵抗を必要とするオープンドレイン信号として実装されます。シングル電源システムでは、故障状態によってアラート信号がグランドを基準として Low になります。ただし、アンプがデュアル電源レベルから動作している場合、アラート信号はグランドではなく  $V_{EE}$  を基準にします。その結果、故障状態が発生するとアラート信号が負電圧に引き込まれる可能性があり、これは多くのマイコンや FPGA が直接受け入れられない電圧レベルとなります。

図 5 に、負のアラート信号を正のマイコン割り込み信号に変換するために使用される、一般的なディスクリート実装を示します。

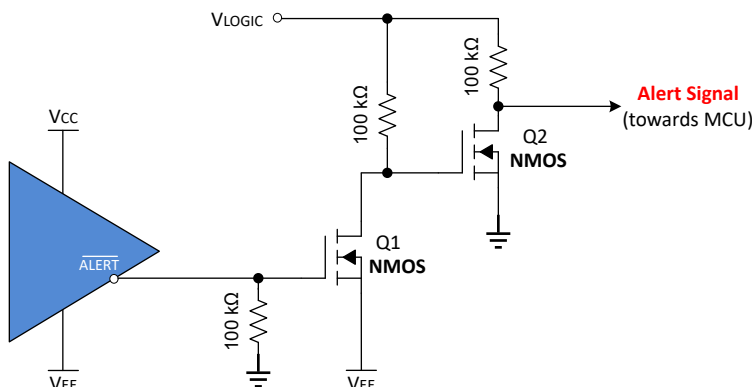


図 5. ディスクリート レベル シフトをアラート

イネーブル フラグとアラート フラグの両方のディスクリート ソリューションは、デュアル電源レールから発生する負の信号を生成または許容するための適切な方法です。しかし、数千ものチャンネルを備えたフェーズド アレイ衛星では、これが数千個におよぶ追加部品と膨大な PCB 面積を意味することになります。表 1 に、各パワー アンプ ペアに必要なディスクリート部品の合計を示します。

表 1. PA ペアごとのディスクリート部品

| 設計              | チャンネルあたりの部品数         |
|-----------------|----------------------|
| ディスクリート イネーブル変換 | 2 FET + 3 抵抗         |
| ディスクリート アラート変換  | 2 FET + 3 抵抗         |
| 合計              | 1 つの PA ペアに 10 以上の部品 |

## デジタル アイソレータを使用しない理由

デジタル アイソレータなどの統合型ソリューションは、デュアル電源レールから取得した負の信号に対処できます。これらのデバイスは、ガルバニック絶縁バリアを介して信号を伝達します。このバリアは、安全性が重要なアプリケーションまたは高電圧アプリケーションに役立ちます。フェーズド アレイ衛星の場合、通信の多くの課題は、安全性絶縁要件ではなく、グラウンド オフセットに起因します。ガルバニック絶縁バリアを追加すると、タイミング性能 (伝搬遅延、チャンネル間スキュー、データレート) が低下すると同時に、システム コストがかさみ、ソリューション サイズも大きくなります。

ガルバニック絶縁が不要な場合は、グラウンド レベル トランスレータを使用することで、よりシンプルで効率的なソリューションが可能になります。

## TI の TXG を使用して、グラウンド レベルの課題を解決

テキサス インスツルメンツは、このような課題に対処するグラウンド レベル トランスレータの TXG ファミリーを使用しています。従来型のレベル トランスレータとは異なり、TXG デバイスは異なる接地電位で動作する電圧ドメイン間で通信を行うように特別に設計されています。TXG デバイスには、追加のディスクリート部品が不要であると同時に、堅牢な信号変換、統合された ESD 保護、小型の IC にデュアル グラウンド アーキテクチャを統合することにより、スイッチング性能を向上できます。

たとえば、図 6 のイネーブル ディスクリート設計を TXG デバイスに置き換えると、図 6 に示すようにソリューションを簡素化できます。TXG の VCCB ピンをシステム グラウンドに、GNDB ピンを  $V_{EE}$  に接続すると、サイド B の出力電圧は  $V_{EE}$  から GND までスイングします。この構成は、 $V_{CC}$  および最大 6.5V の GND の相違に対してのみ許容されます。

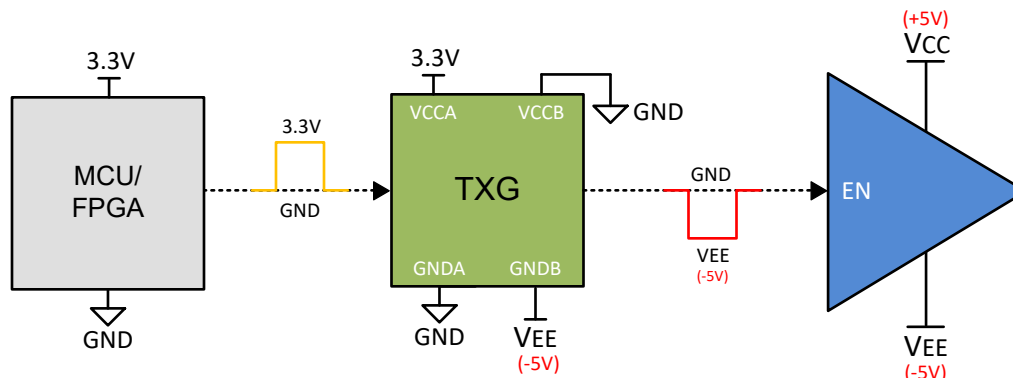


図 6. TXG の実装

ディスクリート回路とデジタル アイソレータを使用してグラウンド オフセット間での通信を行うこともできますが、各アプローチでは、システムの規模、コスト、性能、複雑さについて妥協が生じます。フェーズド アレイ システムでチャネル数が増加し続ける中、これらのトレードオフはますます重要になっています。表 2 は、負電圧信号の課題に対処するため使用される最も一般的な方法を比較したものです。

表 2. グラウンド オフセット通信ソリューションの比較

| 特長                    | ディスクリート回路              | デジタル アイソレータ | TXG        |
|-----------------------|------------------------|-------------|------------|
| グラウンド オフセットのサポート      | あり                     | あり          | あり         |
| ガバナニク絶縁               | なし                     | あり          | なし         |
| 構成部品 / ルーティング オーバーヘッド | 高い (チャネルあたり 10 個以上の部品) | 低           | 低          |
| PCB 面積                | 大型                     | 中           | 小型         |
| コスト                   | 低                      | 高           | 低          |
| 伝搬の遅延 / タイミング         | 低速 / RC 制限             | 中           | 高速 / 低スキュー |
| スケーラビリティ              | 不良                     | 中           | 非常に良好      |

## まとめ

フェーズド アレイ衛星はチャネル数と通信帯域幅を増やし続けており、これによりシステムの高密度化とスケーラビリティに対してより高い要求が課されるようになっていきます。デュアル電源の RF アンプでは信号性能が向上しますが、異なるグラウンドドメインで動作する制御信号とステータス信号が導入されます。従来のディスクリート変換回路はこの課題を解決しますが、部品点数、基板面積、設計の複雑さが増大します。TI の TXG ファミリのグラウンド レベル シフタは、実装を簡素化する小型でスケーラブルな代替選択肢を提供しながらも、グラウンド基準と負電圧ドメインの間で高性能な通信を維持します。

## その他資料

- テキサス インスツルメンツ、『[グラウンド レベル トランスレータに関する設計上の重要な質問](#)』、アプリケーション ブリーフ。
- テキサス インスツルメンツ、『[すべてのグラウンドが 0V であるとは限らない](#)』、アプリケーション ブリーフ。
- テキサス インスツルメンツ、『[不均等なグラウンドの場合：新たなグラウンド レベル トランスレータでオフセットの課題に対処](#)』、技術記事。

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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