

Application Note

xWRL6432AOP のトランスミッタ バックオフおよびレシーバ ゲインに関する推奨事項



Radar Systems and Applications

概要

このアプリケーション ノートでは、レシーバのノイズ指数の増加とレシーバ ADC 飽和のリスクを回避するために、最終アプリケーションと使用事例に応じて xWRL6432AOP レーダー デバイスのトランスミッタのパワー バックオフとレシーバ ゲイン設定を選択する方法、およびそれらを TI の xWRL6432AOP レーダー デバイスに正しくプログラムする方法について説明します。

目次

1 はじめに.....	2
2 レシーバ ノイズ指数の増加.....	2
3 レシーバ ADC 飽和のリスク.....	4
4 TX バックオフと RX ゲインに関する推奨事項.....	4
5 チャープ構成に関するセンシング推定ツールを使用した推奨事項.....	6
6 まとめ.....	7
7 参考資料.....	7
8 改訂履歴.....	7

図の一覧

図 2-1. 各周波数におけるシングル TX 使用時の EINF.....	2
図 2-2. 各周波数におけるシングル TX 使用時の平均 EINF.....	3
図 4-1. 最大許容 RX ゲイン設定.....	4
図 4-2. 57 ~ 63.5GHz の最小 TX バックオフ.....	5
図 4-3. 61 ~ 63.5GHz の最小 TX バックオフ.....	5
図 5-1. ADC 飽和を引き起こすチャープ付きのセンシング推定ツール.....	6

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

FMCW レーダー センサを使用してシステム全体の性能を決定する場合、多くの要因が検出範囲に影響を及ぼします。検出範囲は、チャープ スロープ、IF 帯域幅、および検出された物体から反射エネルギーの信号対雑音比 (SNR) によって決定されます。これに対し信号対雑音比は、目標物の EIRP (TX 出力と TX アンテナ ゲインの組み合わせ)、EINF (RX アンテナ ゲインと RX ノイズ指数の組み合わせ)、RCS で決まります。xWRL6432AOP デバイスでは、アンテナ オンパッケージ (AOP) デバイスのアンテナが互いに近接しているため、送受信アンテナ間の絶縁が制限されています。

このことは、次の 2 点においてレシーバの性能に影響します：

- **影響 1:**レシーバ ノイズ指数の増加
 - TX-RX 結合信号に乗るノイズにより、ノイズ指数が増加します。
- **影響 2:**レシーバ ADC 飽和のリスク
 - TX-RX 結合は、RX 出力に低周波数信号を発生させます。予防措置を講じない限りこの信号は、ADC を飽和させるほど大きくなる可能性があります。

2 レシーバ ノイズ指数の増加

結合信号に乗るノイズにより、レシーバのノイズ指数が増加する可能性があります。ノイズ指数を大きくすると、検出される物体の信号対雑音比が低下するため、検出範囲と精度が低下します。したがって、実効等方ノイズ指数は、次の 2 つの事項に依存します：

1. TX バックオフ
2. TX-RX 絶縁

TX-RX 絶縁は、次の 2 つの要因に依存します：

- 送受信の組み合わせ
- RF 周波数

図 2-1 には、さまざまな送受信の組み合わせと異なる RF 周波数にわたる実効等方ノイズ指数 (EINF) の依存関係が示されています。EINF は、2 つの異なる TX バックオフ設定 (0dB、6dB、10dB) に対して示されています。3 つの TX バックオフ設定間のノイズ指数の変化は、さまざまな RF 周波数に対する TX-RX 結合のノイズ指数への影響を示しています。

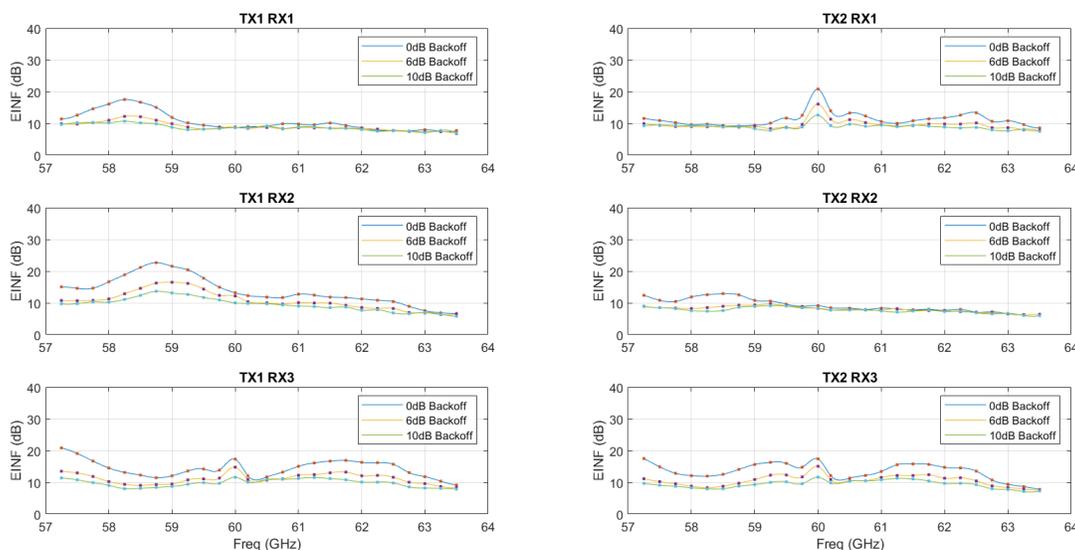


図 2-1. 各周波数におけるシングル TX 使用時の EINF

送信ペアと受信ペアに対するこれらの影響を組み合わせることで、RF 周波数全体にわたるすべての送受信アンテナの総合的な影響を得ることができます。図 2-2 に、TX-RX のさまざまな組み合わせに対して平均化されたノイズ指数を示します。

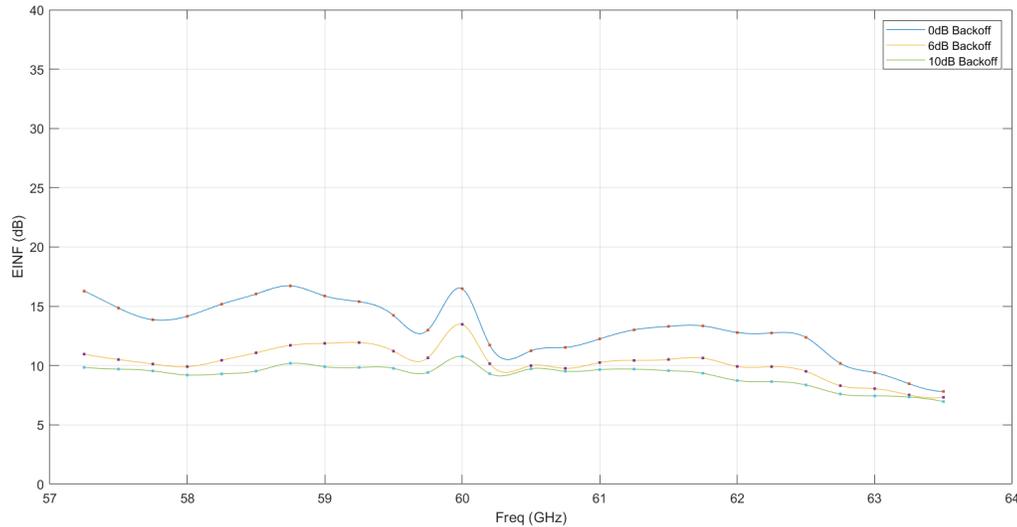


図 2-2. 各周波数におけるシングル TX 使用時の平均 EINF

注

60GHz でのノイズ指数が大きいことから、60GHz 付近では狭い帯域幅のチャープ (0.5GHz 未満) を回避することを推奨します。

検出範囲を最大化する (または特定の検出距離に対して必要な積分時間を最小化する) には、検出さ信号対雑音比を最大化する必要があります。これは、前述のノイズ指数プロファイルに基づき、複数の方法で実現できます。

- TX 消費電力を低減する (パワー バックオフを大きくする) と、TX アンテナと RX アンテナ間の結合量が小さくなるため、ノイズ指数が小さくなります。これは、TX と RX の組み合わせと出力周波数によって変動します。ただし、ノイズ指数を下げることによる利点を送信電力の低減が上回るため、検出範囲が低下します。
- FMCW チャープの開始および停止周波数 (帯域幅) を選択することで結合を低減し、ノイズ指数を下げるのに役立ちます。図 2-2 に示すように、61 ~ 63.5GHz 帯の結合は 57 ~ 61GHz 帯よりも低くなります。周波数帯域の 61 ~ 63.5GHz の部分を活用するチャープを設計すると、ノイズ指数を低減するのに役立ちます。ローカル規制やその他の検討事項により、最終アプリケーションの周波数選択が高まることもありますが、先ほどのグラフを参考に、異なる周波数帯域でのノイズ指数を予測することができます。
- 6 つの仮想チャネル (TX と RX の組み合わせ) すべてを必要としないアプリケーションでは、TX2 を使用するとノイズ指数を削減できます。59 ~ 63.5GHz 帯の TX2 では、結合が最小となります。シングル TX アプリケーション用には、最高の性能と最大範囲の実現のために TX1 よりも TX2 を使用してください。
- 2 つの TX アプリケーションの場合、BPM MIMO モードの代わりに TDM MIMO モードを使用します。

3 レシーバ ADC 飽和のリスク

TX-RX 結合は、RX 出力に低周波数信号を発生させます。予防措置を講じない限りこの信号は、レシーバ ADC を飽和させるほど大きくなる可能性があります。レシーバ ADC 飽和の強度は、次の項目に依存します：

1. RX 入力での結合信号レベル：
 - TX バックオフ
 - RF 周波数
 - 検討中の送受信の組み合わせ
2. RX ゲイン設定
3. HPF 減衰：
 - チャープ スロープと HPF カットオフ周波数の構成

このリスクを緩和するため、レシーバ出力のスイングを低減する必要があります。これは、次のセクションの推奨事項によって実現されます。

4 TX バックオフと RX ゲインに関する推奨事項

図 4-1 と 図 4-2 に、チャープ スロープ (X 軸) と HPF 設定 (異なる色) に基づく、許容される最大 RX ゲイン設定と最小 TX バックオフ制限を示します。以下は、レシーバのノイズ指数の増加とレシーバ ADC 飽和のリスクの影響を最小限に抑えるための推奨事項です。

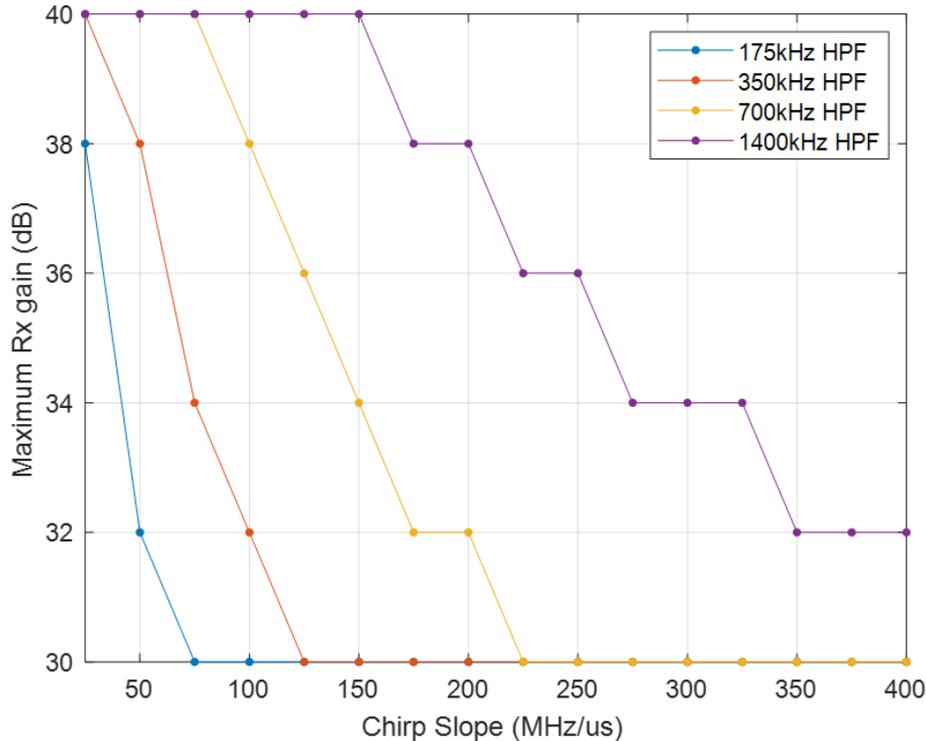


図 4-1. 最大許容 RX ゲイン設定

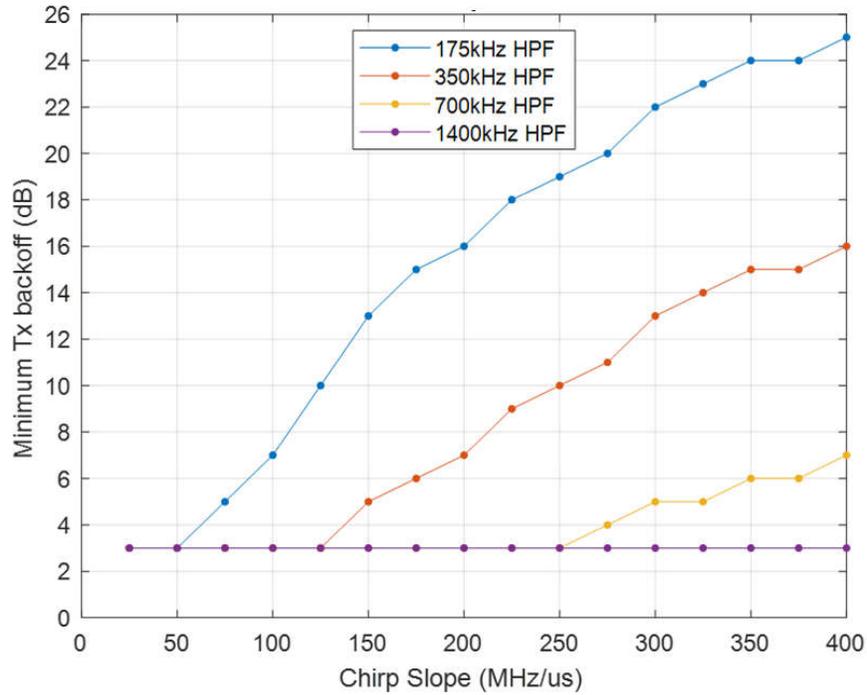


図 4-2. 57 ~ 63.5GHz の最小 TX バックオフ

以下の場合、図 4-3 に示すように TX バックオフの制限を緩和できます：

- 2 つの TX アプリケーションで 61 ~ 63.5GHz 以内に含まれるチャープ
- シングル TX アプリケーション (TX2 を使用) で 59 ~ 63.5GHz 以内に含まれるチャープ

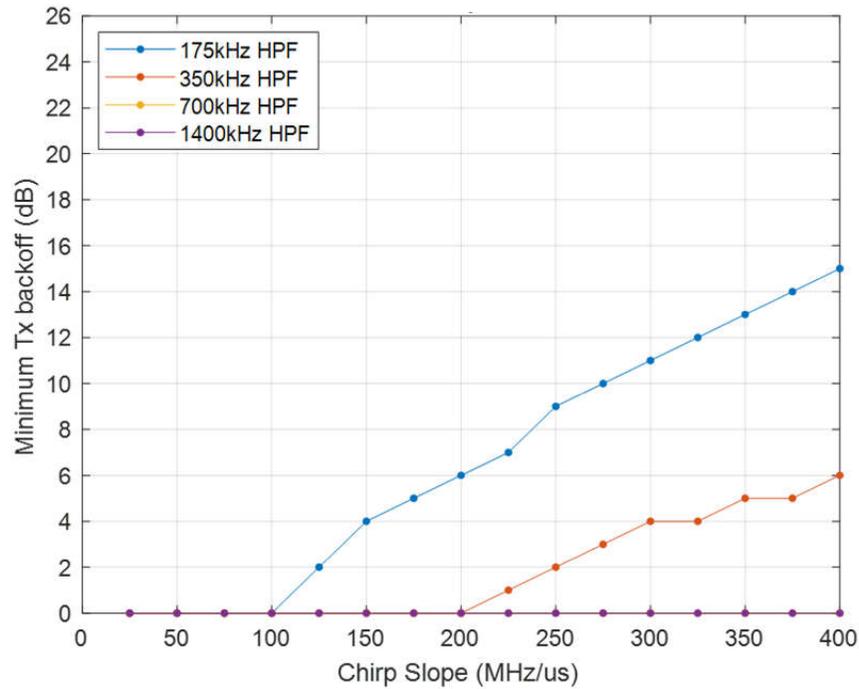


図 4-3. 61 ~ 63.5GHz の最小 TX バックオフ

前述の制限を使用すると、可能な限り最高の信号対雑音比が達成され、レシーバの ADC が飽和しなくなります。

5 チャープ構成に関するセンシング推定ツールを使用した推奨事項

このアプリケーション ノートで述べた適切な推奨事項にチャープ構成が従っているかどうか疑わしい場合、[センシング推定ツール](#)を使用してチャープ設定を確認します。「高度なチャープ設計とチューニング」タブでは、チャープ構成をチェックし、設定が前のセクションのグラフに準拠しているかどうかを確認できます。センシング推定ツールで表示される警告の例については、[図 5-1](#)を参照してください。

The screenshot shows the Sensing Estimation Tool interface. At the top, there are dropdown menus for 'Device' (xWRL6432), 'EVM Board' (xWRL6432AOP), and 'ADC Mode' (Real). Below this is a 'General' section with various configuration parameters for 'chirpCommCfg', 'chirpTimingCfg', 'channelCfg', 'frameCfg', and 'factoryCalibCfg'. A 'Configuration I/O' window is open, displaying a list of configuration parameters and their values. Below the configuration parameters, there are 'Configuration Parameters' and 'Outputs' sections. The 'Outputs' section shows a table of results including Maximum Range, Range Resolution, Maximum Velocity, Velocity Resolution, Chirp Time, Chirp Repetition Period, RF Duty Cycle, Compliance Chirp Time, Active Chirping Time, Radar Cube Size, Max Beat Frequency, Valid Sweep Bandwidth, Carrier Frequency, and End Frequency. A warning message is displayed in the 'Outputs' section, indicating that the ADC saturation is too high and suggesting adjustments to RX Gain, TX Backoff, and Frequency Slope.

図 5-1. ADC 飽和を引き起こすチャープ付きのセンシング推定ツール

チャープ構成を手動で評価するには、以下の設定を検討してください：

1. TX バックオフ
2. RX ゲイン
3. HPF 設定
4. 周波数スロープ

最初に、HPF 設定と周波数スロープを調べて、RX ゲインの要件を満たしていることを確認します。[図 5-1](#) で図示する例では、**HPF 設定 = 1400kHz**、**周波数スロープ、S (MHz/μs) = 240** です。これは、最大 RX ゲインが **36** であることを意味します ([図 4-1](#) を参照)。この場合、最大レシーバゲイン制限を確実に満たすように、RX ゲインを **36** 以下に変更することを決定します。

次に、周波数範囲を示す TX バックオフを確認します。ここでは周波数範囲は **57 ~ 63GHz** なので、[図 4-2](#) のデータを使用してください。これは、最小 TX バックオフを **3** と示しています。この場合、最小バックオフ制限が満たされていることを確認するために、TX バックオフを **3** 以上に変更することを決定します。

RX ゲインを **40** から **36** に、TX バックオフを **0** から **3** に変更すると、ADC 飽和のリスクはほとんどなくなり、センシング推定ツールのエラーは解消されます。

6 まとめ

レシーバの ADC 飽和はレーダー機能に大きな影響を及ぼし、目標物の反射信号から重要な情報を損失する可能性があります。さらに、高いノイズ指数が信号対雑音比を低下させることでレーダー全体の性能が低下し、その結果、範囲分解能と角度分解能の両方に影響を及ぼします。xWRL6432AOP レーダー デバイスのトランスミッタのパワー バックオフとレシーバ ゲイン設定選択に関する推奨事項は、可能な限り最高の性能を作り出すことを目的としています。これらのガイドラインでは、不適切な設定による TX-RX 結合信号のノイズが原因で EINF が高くなる可能性と、RX 出力の低周波数信号によるレシーバ ADC 飽和のリスクに対処しています。推奨事項により、最終アプリケーション ベースで最も良好な xWRL6432AOP レーダー デバイス設定を実現し、これらの問題の影響を管理することでレーダー性能を向上させることができます。

7 参考資料

1. テキサス インストルメンツ、[TI レーダー デバイスにおけるチャープ パラメータのプログラミング アプリケーション レポート](#)
2. テキサス インストルメンツ、[IWRL6432AOP シングルチップ 57 ~ 64GHz 産業用レーダー センサ、アンテナオンパッケージ \(AOP\) 付きデータシート](#)
3. テキサス インストルメンツ、[IWRL6432AOP デバイス シリコン エラッタ](#)
4. テキサス インストルメンツ、[ミリ波センシング推定ツール](#)

8 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision B (November 2024) to Revision C (July 2025)	Page
• 図 2-1 および 図 2-2 、10dB トランスミッタ バックオフ付き IWRL6432AOP ES2 に関する推奨事項を更新。.....	2
• 最大周波数を 63.5GHz に更新.....	2
• 最大周波数を 63.5GHz に更新.....	4

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

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