

Technical Article

TI の GaN FET をベースとする 10kW 単相ストリングインバータに関する設計上の検討事項



Riccardo Ruffo と Vedatroyee Ghosh です

エネルギーの持続可能性とセキュリティに関する懸念から、蓄電システム、特に住宅用太陽光発電設備の需要が高まっています。統合型蓄電システムである(マイクロインバータ付きの)プラグインソーラーも市場に出回っており、電力は最大 2kW 程度です。システムでより大きな電力が必要な場合には、ストリングインバータまたはハイブリッドストリングインバータが用意されていて、これらのインバータには蓄電システムも付属しています。

図 1 は、ハイブリッドストリングインバータのブロック図です。共通の安定化 DC バスが、基本ブロックを相互につなげています。ハイブリッドストリングインバータは、次のサブブロックから構成されます。

- 最高電力点追従を実行する単方向 DC/DC コンバータ。
- バッテリーの充電と放電を行う双方向 DC/DC コンバータ。夜間や停電中に電力を供給することができるバッテリー。
- DC を AC 電力に変換し、低電流の全高調波歪み (THD) を維持する DC/AC コンバータ。
- 電流と電圧の測定、パワースイッチの制御、絶縁のモニタリング、ストリング・アーチングの検出、通信を可能にするマイコン (MCU)。
- 放射照度や温度などの外部変数に左右されず、太陽光発電パネルから利用可能な電力を最大化する電力最適マイザ。

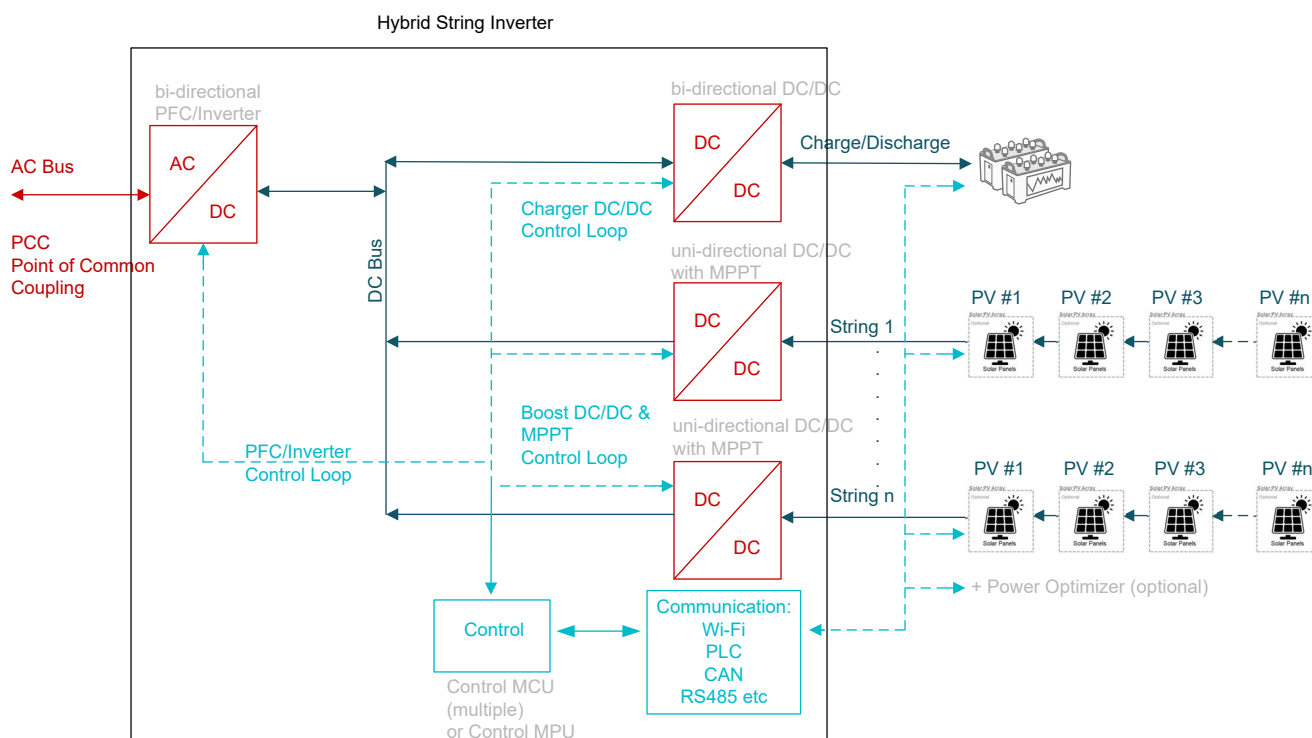


図 1. グリッドに接続するハイブリッドストリングインバータの回路図

IGBT と GaN FET の比較

ストリングインバータは、IGBT (絶縁ゲート型バイポーラ・トランジスタ) などのパワースイッチで構成されています。この種のパワーデバイスには、テール電流やダイオードの逆回復などの問題があり、スイッチング損失が大きくなります。さらに、これらの現象は温度の影響を受け、特に静的冷却ソリューションでは電力損失が大きくなります。したがって、これらのパワーデバイスは低周波数で動作する必要があるため、よりかさばる受動部品と、よりかさばるヒートシンクが必要になります。スイッチング周波数の範囲は 5kHz ~ 15kHz です。

窒化ガリウム (GaN) などのワイド・バンドギャップ・パワースイッチには、少数キャリア現象がないので、スイッチング損失を低減できます。スイッチング損失を低減すると、システム損失を同じ状態に維持できるため、スイッチング周波数を高くでき、その結果、受動部品を削減できます。スイッチング周波数は平均して 6 倍高くなります。

この記事では、GaN FET (電界効果トランジスタ) を用いた 10kW ストリングインバータを提案します。また、GaN の複数の利点を検討し、住宅用ソーラーアプリケーションでこのようなシステムを製作する場合の利点についても解説します。

GaN を用いたストリングインバータに関する設計上の検討事項

図 2 に、バッテリーエネルギーストレージシステム搭載、10kW、GaN ベースの単相ストリングインバータのリファレンスデザインを示します。これには、すべての能動部品および受動部品が含まれています。

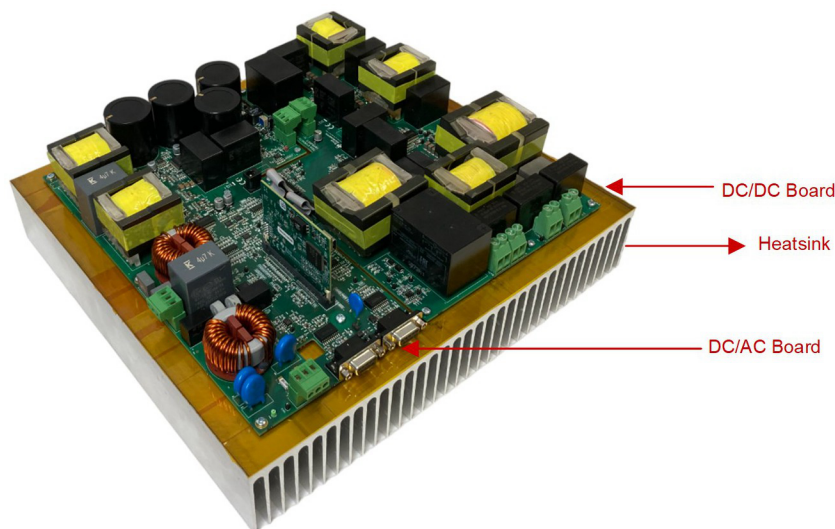


図 2. GaN デバイスを用いた 10kW 単相リファレンスデザイン

図 3 はコンバータの回路図です。

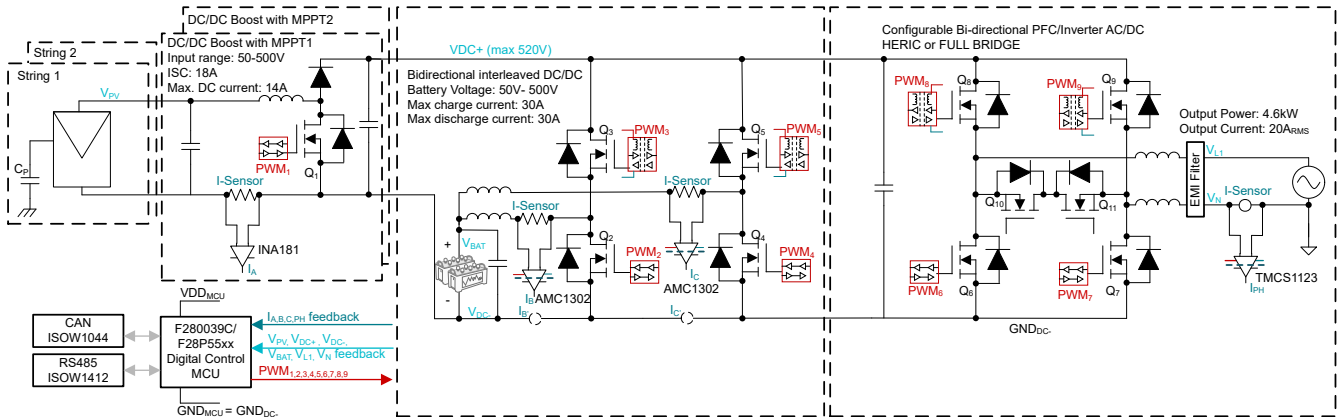


図 3. 単相ストリングインバータのリファレンスデザインのブロック図

このリファレンスデザインは、それぞれのスイッチング周波数で動作する 4 つの電力変換システムで構成されています。

- 2 つの独立したストリング入力に対応する 2 つの昇圧コンバータ。各 5kW 定格 (134kHz)。
- 10kW 定格のインターリーブ双方向 DC/DC コンバータ (67kHz)。
- グリッドに向けて電力を供給する、4.6kW 定格の双方向 DC/AC コンバータ (89kHz)。

パワー デバイス

650V 定格 30mΩ GaN FET の LMG3522R030 を上面で冷却できるので、底面放熱デバイスに比べて熱インピーダンスが小さくなります。これらの FET はゲートドライバを統合しており、ソリューションコストの削減と設計の小型化に寄与します。

MCU

図 3 に示すように、1 つの MCU がリファレンスデザインを制御します。TMS320F28P550SJ により、4 つの電力変換段、保護機能、複数の制御ループの実装をリアルタイムで制御できます。MCU を電源グラウンド (GND DC-) に接続することも可能です。内蔵のゲートドライバにより、GaN FET を直接コントロールすることもできます。底面側 (Q1A、Q1B、Q2、Q4、Q6、Q7) には絶縁型ゲートドライバは不要です。

電流センシング

このシステムでは、さまざまなコンバータ段ごとに、さまざまなポイントで電流を測定する必要があります。昇圧コンバータは、マイコンが電源グラウンドを基準としていることから、負のレールに接続している INA181 などのシャントベースのソリューションを使用して電流を測定します。インターリーブコンバータの場合、高精度の電流センシング強化絶縁型アンプである AMC1302 のようなデバイスを使用して、時間と温度の変化に対して高精度に、バッテリー内の電流を測定する必要があります。内部の GaN 低ドロップアウトレギュレータによって生成される 5V が電流検出アンプに供給されます。インバータ段では、TMCS1123 などのホール効果電流センサによってグリッド電流測定が可能になります。帯域幅が広く精度が高いため、電流 THD を容易に低減できることが重要です。

実験結果

このリファレンスデザインは、以下のシステム電圧で行いました。

- ストリング入力電圧: 350V
- 公称バッテリー電圧: 160V
- グリッド電圧: 230V
- DC リンク電圧: 400V でコントロール。

コンバータがさまざまなシナリオで動作した場合の、次の効率性データを収集しました。

- スtring入力からドレインされ、グリッドに供給される電力 (図 4 を参照)。
- バッテリからドレインされ、グリッドに供給される電力 (図 5 を参照)
- String入力からドレインされ、バッテリーに供給される電力 (図 6 を参照)。

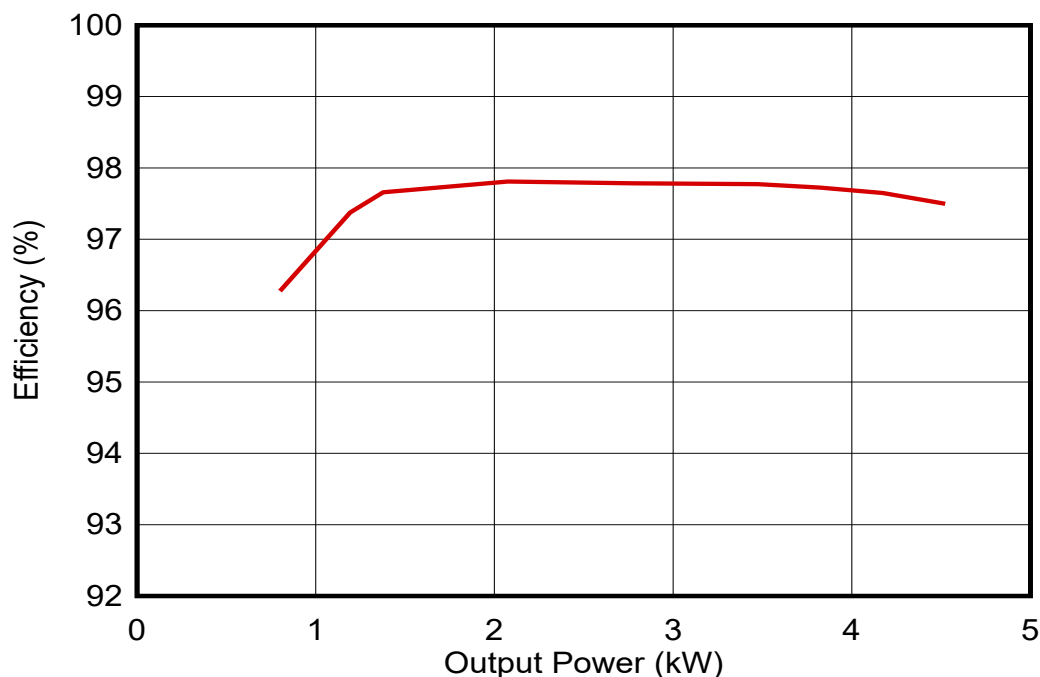


図 4. 太陽光発電パネルの出力から電力をグリッドに変換する (350V_{DC}、230V_{AC}) 場合の効率

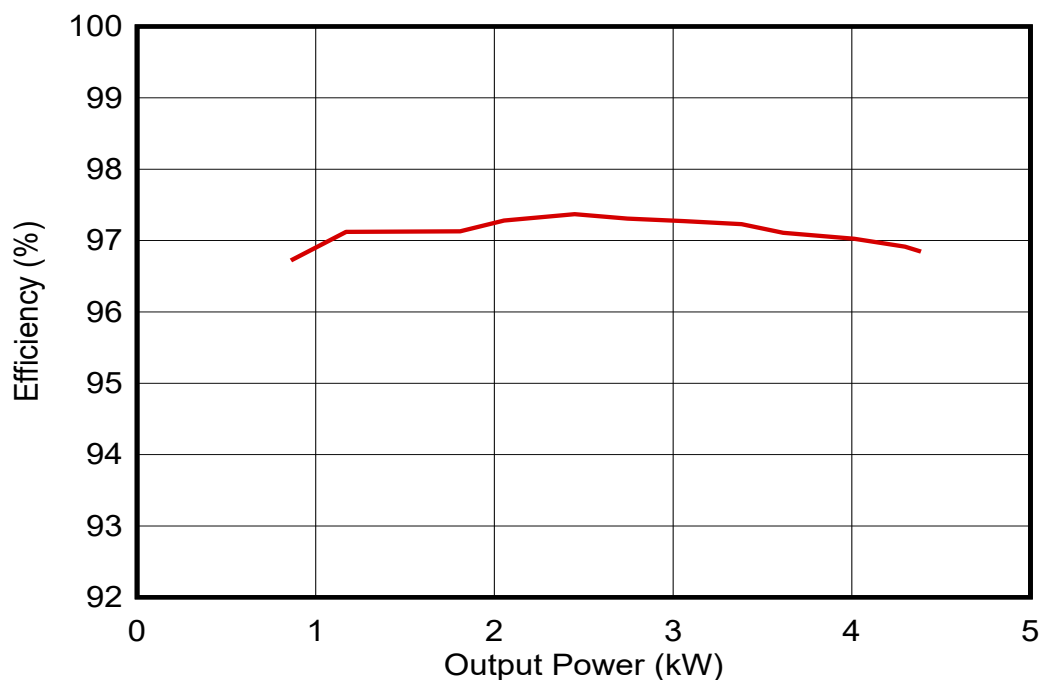


図 5. バッテリの出力から電力をグリッドに変換する (160V_{DC}、230V_{AC}) 場合の効率

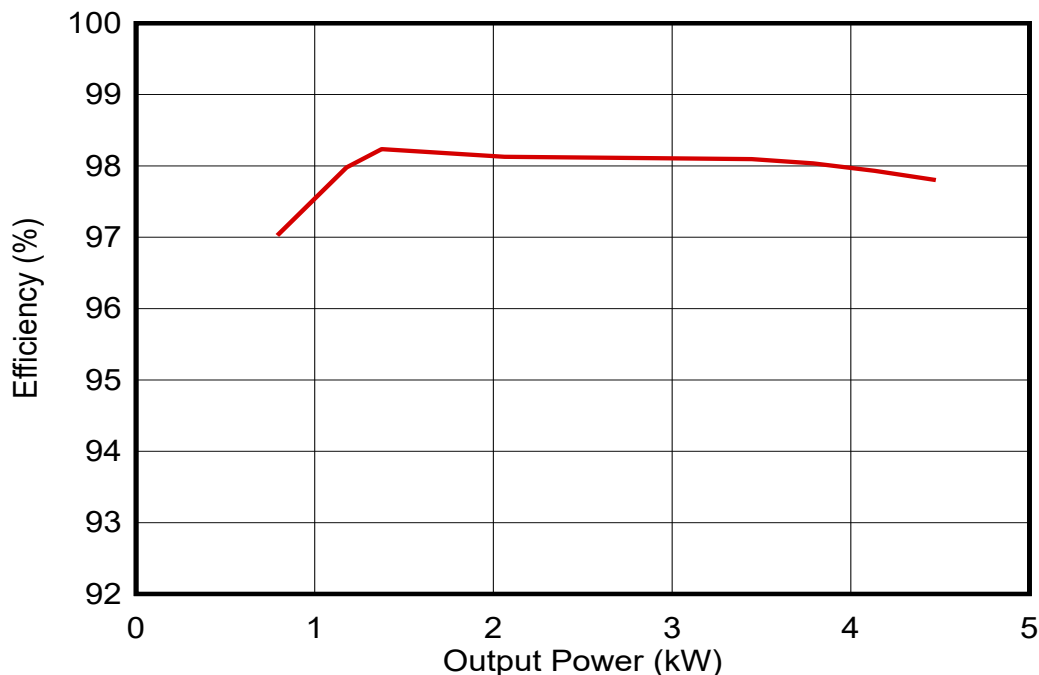


図 6. 太陽光発電パネルの電力をバッテリーに変換する(350V_{DC}、160V_{DC})場合の効率

これらのグラフは、標準的な IGBT ソリューションに比べて 6 倍高速なスイッチングを行っても、全体の効率が現在の IGBT ソリューションと同等であることを示しています。ハウスキーピング電源を含め、効率は 98% 付近にとどまります。3 つの図はすべて、2 つの電力変換段を含んでいます。

まとめ

GaN は電力密度を高めるのに役立ちます。その結果、最終製品の重量を低減できます。全体のシステム効率が約 98% で、電力密度が 2.3kW/L のストリングインバータのリファレンスデザインは優れた性能を示しています。さらに、統合型ゲートドライバソリューションを実装すれば、システム全体のコストを考えると、コスト削減につながる可能性があります。

その他の資料

- 次に掲げる TI のリファレンス デザインをぜひご覧ください。
 - 1.6kW、双方向マイクロインバータによる GaN リファレンス デザイン。
 - ソーラー アプリケーションでの機械学習によるアーク検出用アナログ・フロント・エンドのリファレンス デザイン。
 - 400W GaN ベース MPPT チャージコントローラおよびパワー オプティマイザのリファレンス デザイン。
 - バッテリー蓄電システム搭載、10kW、GaN ベースの単相ストリング インバータによるリファレンス デザイン。
- How2Power の記事『Assessing Performance of a 10-kW String Inverter Based on GaN FETs』(英語)をご覧ください。

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

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