Technical White Paper

SST 内のイーサネット

Gerome Cacho

概要

グリッドからモジュールへの効率的な電力供給の必要性、および前世代のモデル構築に必要な原材料が不足していることは、ソリッド ステート トランス (SST) の開発を推進する重要な課題です。SST は、中電圧グリッドと、バッテリ ストレージ (エネルギー ストレージ ソリューションとも呼ばれます)、データ センターの 800V DC バス電源レール、電気自動車の充電ステーションなどの電力需要の大きい低電圧機器との間を橋渡しします。



図 1-1. データセンターにおける配電網の進化

SST は、トランスの新しい実装であり、電圧を昇圧または降圧するための巻線付き大型フェライト コア (巻数比 10:1 以上) を、より薄型のフェライト コアとともに電力変換を制御およびレギュレーションするパワー エレクトロニクスに置き換えたものです。従来型のトランスとは対照的に、SST は双方向の電力フロー、優れたエネルギー効率、サイズと重量の大幅な小型化などの付加的な機能を提供します。

このホワイト ペーパーでは、システム設計者が SST モジュールを開発するときに直面する可能性のある課題と、SST の動作においてテキサス インスツルメンツのイーサネット PHY がどのように重要な役割を果たすかを説明します。

English Document: STDA059

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 SST 設計上の課題

このような複雑なシステムを設計すると、従来のトランスアーキテクチャを改善する際にいくつかの課題が発生する可能性があります。

従来型のトランスと比較した場合の SST の主な利点は、電力効率です。ただし、効率はスイッチング周波数の高速化と結び付いています。この目標を達成するには、スイッチングを制御するデータをより高速に送信する必要があります。さらに、デイジー チェーンで動作する場合、このデータは一連のブロックを通過する必要があります。必要なすべてのセルに到達するために、データがチェーン全体を通過する必要があるため、デバイスのレイテンシが要因になります。



図 1-1. 従来型 (低周波数) とソリッド ステート トランスの各トポロジの比較

従来型のトランスと比較した SST のもう 1 つの主な利点は、電力密度の向上です。SST では、トランスにかかる周波数が高くなることでローレンツの法則に基づくサイズの要件が緩和され、トランスのサイズを小型化できるため、この利点を実現できます。さらに、技術開発により、単段 AC コンバータの導入が進んでいます。これにより、AC-DC-AC コンバータを単段 (マトリクス コンバータなど) に簡略化でき、入力信号を操作して、中間整流を行わずに高速化することができます。この簡略化により、単段回路が適切に動作していることを確認するために、MV マイコン経由でより多くのデータを送信する必要があります。このデータは、MV 段の制御ループ帯域幅を引き続き順守できるよう、一定時間内に送信する必要があります。さらに、スイッチングがさらに高速化するにつれて、出力に競合がないことを確認するために、セル間の同期を確認することが重要です。

全体として、より電力効率が高く空間密度の高い SST モジュールを実現するために、より高速でより確定的な通信のニーズが高まっています。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 より高速な通信が必要ですか？TI の各種イーサネット PHY がお役に立ちます

イーサネット PHY トランシーバは、これらの一般的な課題の解決に役立ちます。従来の通信タイプに比べて、イーサネットは可能な限り高速で最も確定的な通信を実現します。

SST の一般的な制御ループのリフレッシュ レートは 100 マイクロ秒 (10kHz) です。データ インターフェイスに応じて、レガシー通信には CAN、LIN、RS-485 が使用されてきました。ただし、これらの通信データ レートの到達範囲は最大 500kbps-1Mbps にすぎません。イーサネットは、最大 1Gbps のデータ レートに対応できる、より高速な通信チェーンを提供します。また、これらのデータ レートは、特定のタイプのイーサネットでは最大 15m、最も一般的なタイプのイーサネットでは最大 100m まで一貫して維持されます。これは、CAN、LIN、RS-485 に比べて、帯域幅と距離の大幅なアップグレードです。

従来の通信トポロジでは、ネットワークの実装により固有の遅延が発生します。コマンダ レスポンダ確認応答から他のバス アーティファクトまで、マルチドロップ環境のノード間のデータ送信には不確定な時間がかかります。これにより、SST 内の制御ループでの同期が困難になります。ほとんどのイーサネット トポロジはポイント ツー ポイントで、レイテンシははるかに確定的になり、デバイスによってはナノ秒からマイクロ秒程度となります。さらに、システム同期を目的とした EtherCAT のようなリアルタイム通信システムが複数存在しており、PHY サブシステム上の追加のハードウェア コストなしでイーサネット通信を強化できます。EtherCAT システムの場合、トポロジはマルチドロップではなく、デイジー チェーン経由のポイント ツー ポイントになります。

2.1 TI のイーサネット PHY 製品の選定

TI が提供しているイーサネットには、標準イーサネットとシングル ペア イーサネットの 2 種類があります。標準イーサネットは、10Mbps、100Mbps、1Gbps の固定速度で最大 100m のケーブルをサポートします。これは、通信に 2 つまたは 4 つのツイスト ペアが使用される CAT5e または CAT6 ケーブルを使用しています。シングル ペア イーサネットは同様の速度ですが、より固定的で (標準イーサネット デバイスのマルチスピードに対して、1 デバイスにつき 1 速度)、通信用のケーブル タイプを単一のツイスト ペアに簡素化します。ただし、シリアル化と双方向通信によりアナログ回路とデジタル回路に違いが生じるため、ケーブル長が短くなるというトレードオフがあります。

10/100Mbps の標準イーサネットには、DP83822xF と DP83826A がこのアプリケーションに最適です。モジュール用の最も厳格な EMC テストとともに、最小の確定的レイテンシ (数十ナノ秒) が必要な場合は、DP83826A を推奨します。DP83822xF は、テキサス インスツルメンツの MV 光学接続用 100BASE-FX 設計です。DP83869HM は 1Gbps の標準イーサネット向けに、100Mbps と 1Gbps の両方の速度で銅線とファイバをサポートするのに最適です。テキサス インスツルメンツは、DP83826 による単一の銅線デイジー チェーンを使用し、LV 制御ボードと MV 制御ボード間に局所的なファイバ接続を備えた 50kW SST リファレンス デザイン TIDA-011012 も提供しています。これにより、LV ボードごとに 2 つの PHY で、通信ループで 10/100Mbps のデータ スループットを実現できます。

テキサス インスツルメンツは、10Mbps、100Mbps、1Gbps のシングル ペア イーサネット (SPE) PHY トランシーバも提供しています。SPE を採用すると、ケーブル配線を軽量化でき、SST のコストと重量を低減すると同時に、高速性や数百ナノ秒のレイテンシを維持できます。100Mbps の場合、DP83TC817S-Q1 はこのアプリケーションに最適な PHY です。1Gbps の場合は DP83TG721x-Q1 が推奨されます。標準的なイーサネットと同様に、これらのデバイスはポイント ツー ポイント接続を使用します。この接続は、制御ループにとってデイジー チェーン内で最適に機能します。テキサス インスツルメンツは、10BASE-T1S 準拠のマルチドロップ 10Mbps PHY も提供しています。SST に T1S イーサネットを採用すると、高速化により CAN、LIN、RS-485 から直接アップグレードでき、これらの技術からアップグレードする場合でも既存のケーブル アーキテクチャを維持できます。純粋なトランシーバの場合、DP83TD53x-Q1 は、SoC とのデジタル通信用に OA-3 ピンを備えたアナログ フロント エンド (AFE) デバイスです。DP83TD555J-Q1 は、AFE を物理層衝突回避 (PLCA) 層、PHY 制御層、メディア アクセス制御層、SPI レシーバとともに統合した拡張 T1S デバイスであり、SPI 互換 SoC と T1S 通信を簡単に接続できます。

3 まとめ

ソリッド ステート トランスでは通信要件が高まっていますが、イーサネットは、より高速な帯域幅、より低く確定的なレイテンシ、さらには中電圧回路の電気的絶縁のための光インターフェイスによって、これらの要件に対応できます。TI の PHY 製品ラインアップは、マルチスピード標準イーサネットからシングルスピード シングル ペア イーサネットまで、進化する配電機器におけるこれらの高まる要件に対応できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 その他資料

- ソリッド ステート トランスはグリッド規模の電力供給を変革する準備が整っているを参照してください

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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 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 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