

## Application Brief

## TPLD を用いた安全トルク オフ システム



Malcolm Lyn, Kristen Mogensen

**安全トルク オフ (STO)** は、現代のモータドライブ、サーボ アンプ、およびロボットのパワー ステージにおいて、最も基本的かつ広く採用されている機能安全機能の一つです。主に **IEC 61800-5-2** (可変速電気動力駆動システム - 安全要件 - 機能) で定義されている **STO** は、トルクを発生させる電力がモータに到達するのを防止することで、ドライブが確実にトルクフリーの状態にあることを検証します。この機能は、停止カテゴリ **0** (EN 60204-1) に直接対応しており、**IEC 61508 SIL 3**、**ISO 13849-1** パフォーマンス レベル **e** (PL **e**)/カテゴリ **3-4**、および **ISO 10218-1/2** などのロボット工学固有の規格への準拠における中核的な要件です。アプリケーション ブリーフ「[統合型 3 相スマート ゲートドライバを使用した小型 STO システムの設計](#)」で述べられているように、**STO** 回路のサイズはモータシステムのハードウェアのサイズによって制約されており、全体的な設計サイズは小型化の傾向にあります。最新のモータドライブ システムでは、ディスクリート ロジック ゲート、タイマ回路、コンパレータ、およびローパス フィルタ コンポーネントを使用して、診断機能を備えた **STO** を実装していますが、これらはすべて 1 つの **TI プログラマブル ロジック デバイス (TPLD)** に集積することができます。

## モータドライブ システム向けの簡素化された TPLD 安全トルク オフ回路

モータドライブ システムのゲートドライバには、 $R_{DS(on)}$  を最小限に抑え、導通損失を可能な限り低く保つため、駆動対象の FET の推奨  $V_{GS}$  に可能な限り近い  $V_{CC}$  (DRV8350F などのデバイスでは通常  $V_M$ ) が意図的に供給されます。しかし、パワー FET、特に Si や SiC MOSFET は、最大  $V_{GS}$  定格が非常に厳しいため、ドライバの  $V_{CC}$  レールに過電圧が発生すると、ゲート電圧の定格を超過し、即座に損傷を引き起こす可能性があります。[図 1](#) に示す **STO** 回路の主な目的は、**STO** コマンドまたは検出された障害 (電源レールの異常を含む) が発生するとすぐにゲートドライバの供給電圧 ( $V_M$ ) を遮断し、それによって FET を損傷から保護し、トルクの発生を防ぐことです。

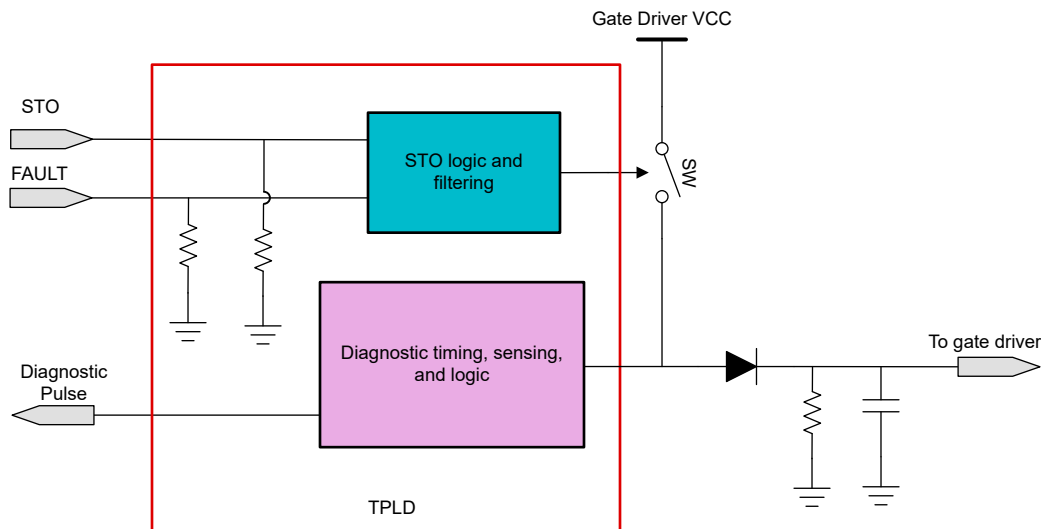


図 1. 代表的な安全トルク オフ回路のブロック図

図 1 の回路は、2 つの主要な入力を受け付けます。STO (デュアル チャネル STO 信号の 1 つであり、通常は 24V の安全入力から絶縁された 3.3V ロジックとして供給されます) および FAULT (ゲートドライバからのフォールトフィードバック) です。これらは TPLD に送られ、TPLD は STO 回路で一般的に使用されるすべてのディスクリートロジック、タイミング、アナログ比較、および監視要素を単一のプログラマブル デバイスに統合しています。信号は TPLD のオンチップ ロジックによってフィルタリングおよび処理されます。いずれかの信号が Low になると、TPLD はロードスイッチを開き、ゲートドライバへの電源供給が遮断されます。

また、この回路には、紫色のボックスで強調表示されているように、定期的な診断テストを行うための追加のロジックおよびタイミング要素も組み込まれています。TPLD に統合されたコンパレータ、ロジック、およびタイミング要素 (パルス発生器やウォッチドッグ タイマなど) を使用することで、ロードスイッチを一時的に強制的に開放し、スイッチが実際に開放されるかどうかを監視することができます。テスト中も、下流側のコンデンサがホールドアップ機能を提供するため、モータの動作は中断されません。スイッチが開かない場合や、TPLD 内部のロジックに基づいて他の問題が検出された場合、内蔵のウォッチドッグがタイムアウトし、診断エラーを通知して、セーフステートへのシャットダウンをトリガーします。この継続的なオンライン自己診断により、SIL 3 (IEC 61508) および PL e (ISO 13849-1) に必要な高い診断カバレッジ (DC  $\geq 90\%$ ) を実現すると同時に、非破壊的な定期的な検証試験も可能になります。

また、TPLD デバイスは、ゲートドライバに供給される PWM 信号をアクティブに制御することもできます。各 PWM 信号は TPLD を通じてルーティングおよびバッファリングすることができ、STO 信号がアクティブな場合、TPLD の出力を高インピーダンスまたは強制 Low に設定することで、セーフステート中にゲートドライバがスイッチング コマンドを受信しないことを確認できます。

## まとめ

TPLD ベースの STO 実装は、ゲートドライバの電源遮断、連続 100Hz 診断パルス、レール監視、ウォッチドッグ タイマ、およびオプションの PWM 無効化機能を統合した、コンパクトな単一デバイス設計を実現します。従来の設計 (例えば、TIDA-01599) で必要とされていたマルチ IC のディスクリートロジックや外部 MCU に取って代わることで、これらの回路は基板面積と BOM コストを 50~70% 削減しつつ、真のハードウェアのみによる決定論的な診断機能を提供します。その結果、高い診断カバレッジと非破壊的なプルーフテスト機能により、IEC 61800-5-2、IEC 61508 SIL 3、ISO 13849-1 PL e/Cat. 3-4、およびロボット工学規格 ISO 10218-1 の最も厳しい機能安全要件を直接満たします。これにより、産業用ドライブ、サーボ、協働ロボットの設計者は、設置面積の縮小、認証作業の軽減、そして高効率の維持を実現しつつ、認証済みの安全トルクフリー動作を実現できます。

[プログラマブル ロジックに関するエンジニア向けガイド](#)で、TPLD についてさらに詳しくご覧ください。

## 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

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