

Application Note

ハイサイドスイッチおよびコントローラの基礎



Samuel Skranak, Olivia Brandel, Patrick Shalton

概要

テキサス インストルメンツ (TI) のハイサイド パワー スイッチは、抵抗性、容量性、誘導性の各負荷を駆動するように設計された保護機能と診断機能を内蔵したパワー マネージメント デバイスです。この製品ラインアップには、ハイサイド スイッチ (FET 内蔵)、ハイサイド スイッチ コントローラ (外部 FET)、スマート eFuse ハイサイド スイッチ (I²T ベースのワイヤ ハーネス保護機能を搭載した内蔵または外部 FET 採用の設計) などがあります。TI の 12V、24V、48V の製品ラインアップは、車載用ゾーン、ボディ、バッテリー管理システム、産業用オートメーション、ロボットにも対応するようカスタマイズされています。

『ハイサイド スイッチとコントローラの基礎』では、TI のハイサイド製品ラインアップについて解説し、他のパワー スイッチ設計との比較を示し、アーキテクチャおよびアプリケーションの違いについて説明します。また、このドキュメントでは、多くの保護機能および診断機能の概要も説明します。このドキュメントは、TI のハイサイド スイッチ、ハイサイド スイッチ コントローラ、スマート eFuse ハイサイド スイッチの基本的な知識を提供します。

目次

1 はじめに.....	2
1.1 ハイサイド スイッチと他のパワー スイッチ IC との比較.....	3
1.2 車載と産業用の一般的な標準.....	10
2 ハイサイド スイッチおよびコントローラのアーキテクチャとアプリケーションの違い.....	13
2.1 アーキテクチャの違い.....	13
2.2 アプリケーションの違い.....	14
2.3 概要および製品ファミリの選択マトリクス.....	15
3 ハイサイド スイッチとコントローラの主な特長.....	17
3.1 保護機能.....	17
3.2 診断機能.....	21
4 特殊機能.....	24
4.1 静電容量式充電機能.....	24
4.2 シリアル通信と対応する機能.....	25
4.3 産業用システム向け機能:強化された EFT、逆電流ブロック、LED 駆動.....	26
4.4 その他の特殊機能.....	28
4.5 スマート eFuse ハイサイド スイッチ保護機能.....	29
5 まとめ.....	31
6 参考資料.....	31

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

基本的なレベルとして、ハイサイドスイッチとハイサイドスイッチコントローラ(一般にハイサイドゲートドライバと呼ばれます)は、抵抗、容量、誘導の各負荷を駆動するパワーマネージメントデバイスです。TIのハイサイドパワースイッチ製品ポートフォリオは、診断および保護メカニズムを通じてインテリジェントな制御を実現します。ハイサイドスイッチではMOSFETが同じパッケージに統合されていますが、コントローラは外部MOSFET用にゲートドライバを提供します。内蔵型または外付けのFETソリューションのいずれかを選択する際に最も決定的な要因は、電流要件です。熱とダイのサイズの制約により、ハイサイドスイッチの最大負荷電流が制限されます。そのため、ハイサイドスイッチコントローラは、ハイサイドスイッチを使用できない大電流アプリケーションの代替品となります。ハイサイドスイッチおよびコントローラのチャネル数はさまざまであるため、モジュールごとのデバイス数を減らすことができ、システムのサイズとコストを削減できます。さらに、ハイサイドスイッチは、デバイスが駆動する必要のある電流に合わせてデバイスをカスタマイズするためのさまざまなMOSFETオン抵抗を備えています。

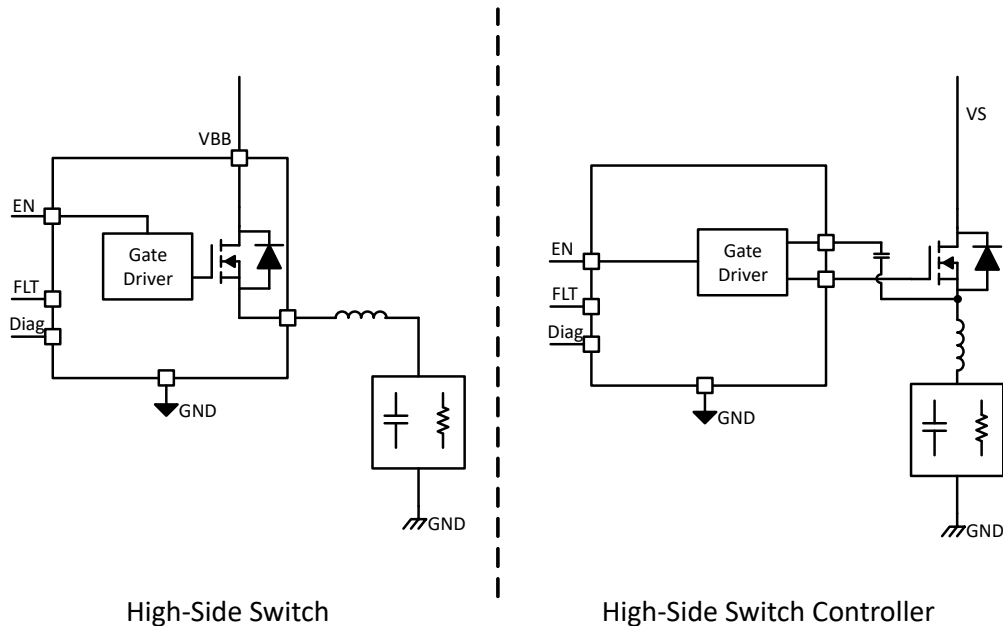


図 1-1. FET 内蔵のハイサイドスイッチ (左) および外部 FET 付きハイサイドスイッチコントローラ (右) の基本的な図

1.1 ハイサイドスイッチと他のパワースイッチICとの比較

電圧源と負荷の間の電氣的接続のスイッチングは、ディスクリートソリューションまたは統合型ソリューションを使用して実装することができます。セクション 1.1.1 では、ディスクリート部品を使用してハイサイドスイッチを実装する 3 つの方法について説明します。以降のセクションでは、TI のハイサイドスイッチと他の TI ハイサイド IC (ロードスイッチ、ホットスワップコントローラ、eFuse (統合型ホットスワップ)、モータードライバ) との比較について説明します。さらにセクション 1 の後半のサブセクションでは、パワースイッチIC に対するテキサスインスツルメンツの用語と命名規則について明確に説明します。図 1-2 に、他のパワースイッチIC に加えてハイサイドスイッチおよびコントローラを採用したシステムブロック例の図を示します。

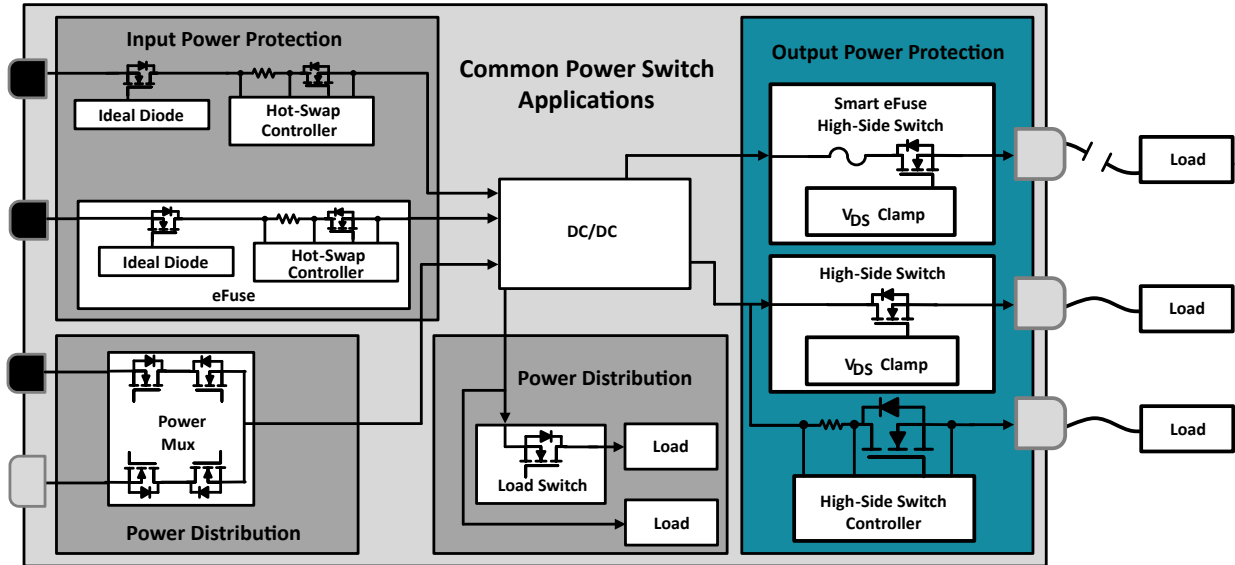


図 1-2. ハイサイドスイッチ、ハイサイドスイッチコントローラ、スマート eFuse ハイサイドスイッチの代表的な使用事例を示す簡略化されたシステムブロック図

1.1.1 ディスクリートハイサイド実装

ハイサイドスイッチングは、MOSFET とディスクリート制御回路を使用して実装できます。ディスクリート回路と IC のソリューションの複雑さを比較するために、セクション 1 ではハイサイドスイッチのディスクリート実装について、最も簡単なものから最も複雑なものまでの 3 つのレベルを説明します。

表 1-1. ディスクリートハイサイド実装の比較

	レベル 1: NFET 制御の PFET	レベル 2: NFET とステップアップコンバータ	レベル 3: NFET、ステップアップコンバータ、ディスクリート保護	ハイサイドスイッチ
実装	ディスクリート	ディスクリート	ディスクリート	統合
まとめ	放熱性能が低い FET のサイズが大きい 消費電力が大きい	放熱性能は平均的 消費電力が大きい	設計サイズが大きい 設計が複雑	設計サイズがコンパクト 放熱効率の高いパッケージ 最小限の外付け部品で保護機能を内蔵

1.1.1.1 レベル 1: NFET 制御の PFET

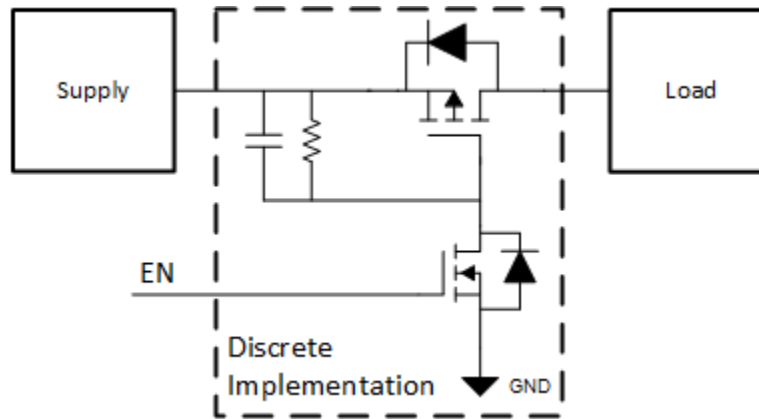


図 1-3. ディスクリート実装レベル 1: NFET 制御の PFET

最も単純なディスクリート ハイサイド スイッチの実装は PFET パス FET です。これは、NFET によって可能になります。PFET のソース側には、スルーレートを制御するために、そのゲートに接続された抵抗とコンデンサが接続されています。PFET のゲートとソースとの間に TVS ダイオードを追加すると、ゲートとソース間の電圧 (V_{GS}) を PFET の V_{GS} の絶対最大値の範囲内に維持することができます。

このディスクリート回路は最適化されていません。第一に、PFET は単位面積あたりのオン抵抗が NFET より大きいので、放熱性能が低下します。その結果、PFET ソリューションが大型になり、特定の負荷電流での熱効率が低下します。さらに、PFET は最小オン抵抗を達成するのに必要なゲートソース間電圧を達成できない可能性があるため、特定の負荷電流では必要とされる FET のサイズが大きくなります。最後に、イネーブルになっている NFET は常時電流を消費し、アクティブ化時に TVS ダイオードの短絡が発生し、電力を消費し、不必要に高いレベルでリーク電流が発生します。

1.1.1.2 レベル 2: NFET とステップアップ コンバータ

レベル 1 の実装を改善する方法の 1 つは、PFET の代わりに NFET を使用し、ディープリニア領域で動作させることです。これを達成するには、ゲート電圧をドレインより高くするためのステップアップ コンバータが必要です。ブースト コンバータを使用することもできますが、ゲートドライバはコスト、パフォーマンス、ノイズにより最適化されたデバイスです。レベル 1 の実装に対するレベル 2 実装の主な利点は、単位面積あたりのオン抵抗がはるかに低く、熱効率が高いことです。そのため、パワー MOSFET には小型のトランジスタを使用できます。

1.1.1.3 レベル 3: NFET、昇圧コンバータ、ディスクリート実装された保護機能と診断機能

最終的な個別の実装では、N チャネル MOSFET と 1 つのゲートドライバが実装レベル 2 と同様ですが、この設計には MOSFET の周囲に追加の回路が搭載されており、各種の保護機能を提供します。出力で外付けの TVS またはフライバック ダイオードを使用して、誘導性クランプを実現します。電流制限と電流センスの両方が、センス抵抗とアンプを使用して実装されています。この電流制限機能は、プログラマブルなスレッシュホールドに対して電流を測定するマイコンの ADC を使用するか、またコンパレータで出力と EN 信号を理論和して EN ピンを制御するかのいずれかの方法で実装できます。過熱保護機能は、温度センス IC、またはパス FET の近くに配置した BJT を使用して実装できます。

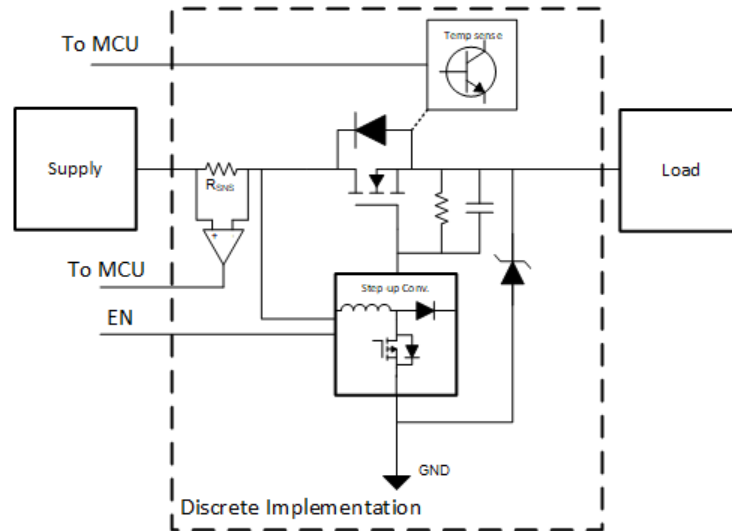


図 1-4. ディスクリート実装レベル 3: Nfet、昇圧コンバータ、ディスクリート実装された保護機能

ディスクリート設計は実現可能ですが、すべての物理的部品のコストとサイズが統合型の設計を大幅に超過します。加えて、IC よりも設計にエンジニアリング労力が必要とされるため、エンジニアリング コストが上昇します。

1.1.2 負荷スイッチとの比較

TI の負荷スイッチとハイサイド スイッチはどちらも、電圧源を電氣的負荷に接続する統合型ハイサイド パワー スイッチ IC です。いずれも MOSFET とチャージ ポンプを内蔵しています。基本的な概念は同じであるため、他のメーカーではこれらの名前が混同されることも珍しくありません。TI の製品ラインアップの場合、これらのスイッチはベースライン仕様と機能セットが多岐にわたり、それぞれが対象の使用事例に合わせてカスタマイズ済みであるため、名前もさまざまです。負荷スイッチは低電圧スイッチで、3.3V、5V、12V いずれかのシステムでオンボード負荷を駆動するように設計されています。オンボード負荷は、比較的制御された環境にあるので、負荷スイッチは最小限の保護機能でシステム要件を満たすことができます。一般的な保護機能として、スルーレート制御、過熱保護、クイック出力放電が挙げられます。一部のデバイスは、短絡保護、逆電流保護、電流監視などの機能も搭載していることがあります。

一方、ハイサイド スイッチは完全に保護され、機能も充実しており、12V、24V、48V システムでのオフボード負荷の駆動用に最適化されています。ハイサイド スイッチは、レギュレートされていないレールで過酷な電圧過渡および電流過渡への耐性が求められます。ハイサイド スイッチは、あらゆる種類の電氣負荷を駆動するように設計されており、容量性突入電流や、誘導性負荷からのキックバックに耐えられます。多くの場合、ハイサイド スイッチはオフボードソースから電力を供給されており、オフボード負荷を駆動するために充実した保護機能と診断機能が求められます。セクション 3 とセクション 4 では、これらの機能について詳しく説明します。表 1-2 に、ハイサイド スイッチと負荷スイッチの比較がまとめられています。ハイサイド スイッチに充実した保護機能と診断機能が備わっていることが分かります。

表 1-2. ハイサイドスイッチと負荷スイッチの比較

	ハイサイドスイッチ	ロードスイッチ
FET の構成	内部	内部
標準的な対応入力電圧	12V、24V、48V	3.3V、5V
標準的な出力電流能力	750mA-10A	200mA-15A
代表的な使用事例	オフボード負荷の駆動とパワー ディストリビューション	オンボード負荷の駆動とパワー ディストリビューション
保護機能	調整可能な電流制限 過電圧保護* 逆電流ブロック* 低電圧誤動作防止 (UVLO) 絶対サーマル シャットダウン 相対的なサーマル シャットダウン GND 損失、電源喪失保護 逆バッテリー保護 誘導性放電クランプ	電流制限* 過電圧保護* 逆電流ブロック* UVLO サーマル シャットダウン
その他の特長	フォルト出力 アナログ電流検出 オンおよびオフ状態の開放負荷とバッテリー短絡の検出 過負荷とグラウンドへの短絡の検出 UL 認識 1	クイック出力放電 パワー グッドピン スルーレート制御
インターフェイス	GPIO または SPI	GPIO
AEC-Q100 認定あり	あり	あり

1. * 一部のデバイスでのみ使用できます。

1.1.3 ホット スワップ コントローラと eFuse (統合型ホット スワップ) の比較

産業用およびエンタープライズ市場では、「eFuse」や「統合型ホット スワップ」という名前は通常、FET 内蔵入力電力保護 IC (例えば [TPS2663](#)) に使用されています。eFuse (内蔵型ホット スワップ) は、短絡、過電流、過電圧、低電圧、過熱など、ダウンストリーム負荷に損傷を与かねない障害イベント時に電圧および電流を保護します。eFuse は通常、システムの入力を保護し、オンボード負荷への損傷を防止します。一方、ハイサイド スイッチは通常、出力電源を保護し、同様の障害イベント時にオフボード負荷の損傷を防止します。

ただし、基本的なレベルでは、どちらもハイサイド内部 FET パワー スイッチです。たとえば、PLC アナログ入力モジュールにおいて、エンジニアはフィールドトランスミッタの出力電力ポートでの誤配線から保護するために eFuse (統合型ホット スワップ) を選択することができます。また、ハイサイド スイッチは、システム入力側でシンプルな電流制限を行うこともできます。特に、過電圧が懸念されない場合に役立ちます。負荷スイッチ、eFuse (統合型ホット スワップ)、ハイサイド

スイッチは (電圧と電流の要件に応じて) 同じアプリケーションで動作しますが、多くの場合、入力保護と出力保護のどちらかに合わせて機能セットがカスタマイズされています。

産業用アプリケーション向けの eFuse (統合型ホット スワップ) は多くの場合、過電圧保護、内蔵された逆電流ブロック用双方向 FET、UL 2367 認定を実現しています。また、逆電流ブロックにより、eFuse (統合型ホット スワップ) 負荷とスイッチが入力電力の多重化 (またはパワー マルチプレクシング) にも対応できます。『[負荷スイッチと eFuse を使用したパワー マルチプレクシング](#)』のこのトピックの詳細をお読みください。eFuse (統合型ホット スワップ) の詳細については、『[eFuse の基礎](#)』をご覧ください。

出力電力の保護のために、ハイサイド スイッチは誘導性放電クランプ、ロードダンプとの互換性、開放負荷または断線検出などの機能を統合しています。[TPS274C65](#) など一部のハイサイド スイッチには、逆電流ブロック用に外部 FET を駆動する機能があります。この機能は、出力ポートで誤配線状態が発生する可能性のある PLC デジタル出力モジュールのようなアプリケーションで有益です。

ハイサイド スイッチ コントローラやホット スワップ コントローラのような外部 FET の設計は、対応する FET 統合型ソリューションと同様の関係があります。ホット スワップ コントローラは、システム入力の保護を目的として設計されており、ホット スワップまたはホットプラグ イベント時に電流制限と入力過渡処理を実現します。ホット スワップ コントローラの主な目的は突入電流の制御であるため、通常、ゲートドライブ全体が小さくなっています。ハイサイド スイッチ コントローラは、出力保護 (大電流オフボード負荷駆動用) と入力保護の両方を目的として設計されており、出力と入力の両方に対して強力なゲート駆動と過渡処理を実現します。ハイサイド スイッチ コントローラは、双方向機能も備えています。たとえば、[TPS1212-Q1](#) は、双方向電流機能を搭載しており、入力電源を保護しながら、電流がソースに逆流することも許容するアプリケーション (たとえば、バッテリー充電用途) で有利です。ハイサイド スイッチ コントローラとホット スワップ コントローラのもう 1 つの際立った動作は、過電流応答です。ハイサイド スイッチ コントローラは、ホット スワップ コントローラの標準的な電流制限方式では、電流のクランプは行いません。代わりに、サーキットブレーカ機能を実現するか、溶断式ヒューズをエミュレートします。車載業界で新しく登場したプログラマブルなヒューズ プロファイルが I²T です。ここで、I は電流、T は時間です。

車載市場では通常、I²T 保護機能付きハイサイド スイッチまたはコントローラを「eFuse」または「スマートヒューズ」と呼びます。このドキュメントでは、I²T を使用するハイサイド スイッチまたはコントローラを「スマート eFuse ハイサイド スイッチ」と呼び、TI の eFuse (統合型ホット スワップ) と区別します。セクション 4.5 では、TI のスマート eFuse ハイサイド スイッチの機能、保護機能、使用事例について詳細に説明します。

[表 1-3](#) に、ハイサイド スイッチ、ハイサイド スイッチ コントローラ、スマート eFuse ハイサイド スイッチ、ホット スワップ コントローラ、eFuse (統合型ホット スワップ) の比較を示します。[セクション 3.1.1](#) では、ハイサイド スイッチとハイサイド スイッチ コントローラ固有の過電流動作についてさらに詳しく説明します。

表 1-3. ハイサイドスイッチとホットスワップコントローラと eFuse (統合型ホットスワップ) の比較

機能 ¹ と構成	ハイサイドスイッチ	ハイサイドスイッチコントローラ	スマート eFuse ハイサイドスイッチ	eFuse (統合型ホットスワップ)	ホットスワップコントローラ
FET の構成	内部	外部	内部または外部	内部	外部
逆電流ブロック (オンおよびオフ状態)	あり ²	なし ³	なし	あり ²	あり ²
入力逆極性保護	なし	あり	あり ⁴	あり ²	なし
出力逆極性保護	なし	あり ²	あり ⁴	なし	なし
過電流保護 (OCP) 動作 ⁵	電流制限	サーキットブレーカ	制御された電流 (I^2T ヒューズ プロファイルに基づく)	サーキットブレーカ、電流制限、または電力制限	サーキットブレーカ、電流制限、または電力制限
過電圧保護	あり ²	あり ²	なし	あり	あり
誘導性放電クランプ	あり	なし	あり	なし	なし
双方向の電流能力を利用可能	なし	あり ^{2,6}	あり ⁴	あり ^{2,7}	なし
車載分野のロードダンブ互換性	あり	あり	あり	なし	なし
UL 認定	あり ²	なし	なし	あり	なし
インターフェイス	GPIO または SPI	GPIO	GPIO または SPI	GPIO または PMBus	GPIO または PMBus
AEC-Q100 認定	あり	あり	あり	あり ²	あり ²

- 「あり」は、その製品ファミリで機能が一般的に利用可能であることを示します。
- 一部のデバイスでのみ使用できます。
- オン状態では、ハイサイドスイッチコントローラは逆電流を検出し、MCU に動作を指示する信号を送信することができますが、保護機能は内蔵されていません
- 外部 FET デバイスにのみ適用されます。
- 電流制限は、出力電流を特定の値にクランプします。この値は、プログラマブルまたは固定値のいずれかです。 I^2T 保護により、特定の電流時間プロファイルに従って出力電流がオフになります。
- 双方向電流監視のみ
- 定常状態での双方向電力供給により、USB OTG または DRP 動作をサポートします

1.1.4 モータードライバとゲートドライバとの比較

このドキュメントでは、ハイサイドスイッチとハイサイドスイッチコントローラを中心に説明しています。これらはチャージポンプを内蔵しており、常時オン動作を可能にします。これらは、ブートストラップ回路または外部バイアスを必要とする TI のハーフブリッジゲートドライバ製品ラインアップとは異なります。さらに、ハイサイドスイッチとハイサイドスイッチコントローラの製品ラインアップは、ハイサイドチャンネルのみを搭載しており、ハーフブリッジスイッチまたはローサイドスイッチとして構成することはできません。ハイサイドスイッチおよびコントローラは、抵抗性、容量性、誘導性など、幅広い負荷を駆動できるよう設計されています。ハイサイドスイッチは、ファンなどの単一方向で回転するモーターを駆動できますが、BLDC やステッピングモーターなど、より高度な制御を必要とするモーターには適していません。他の製品ラインアップの詳細については、「[モーター設計要件を満たすための適切な統合レベルの選択](#)」をご覧くださいか、「[ゲートドライバ](#)」または「[モータードライバ](#)」の概要ページをご覧ください。

1.1.5 まとめ

セクション 1.1 では、ハイサイド スイッチとコントローラに関する用語と使用事例の概要を、他のパワー スイッチや類似の IC と比較しながら説明しています。表 1-4 に、これらの IC の使用事例と主な機能の違いをまとめます。

表 1-4. パワー スイッチ IC の一般的な使用事例と主な違い

IC のタイプ	一般的な使用事例	主な違い
ハイサイド スイッチ	オフボード負荷の駆動 出力電力保護 (12V ~ 48V) 12V ~ 48V パワー ディストリビューション	誘導性放電クランプ 過電流保護 負荷診断機能を内蔵
ハイサイド スイッチ コントローラ	大電流のオフボード負荷を駆動 大電流の 12V ~ 48V パワー ディストリビューション 出力電力保護 (12V ~ 48V) サーキットブレーカ / バッテリーの切り離し	サーキット ブレーカ過電流保護 双方向電流監視
eFuse とホット スワップ コントローラ	入力電力保護 (5V ~ 48V)) ホット スワップまたはホット プラグ	過電流および過電圧保護
ロード スイッチ	オンボード負荷駆動 (3.3V ~ 5V) プロセッサ用電源シーケンス	クイック出力放電 スルーレート制御 コンパクトなパッケージ
モーター ドライバ	モーター駆動 / 制御	モーター制御回路 モーターの種類 (ブラシ付き、ブラシレス、ステッピングなど) に応じた特殊機能を内蔵
ゲートドライバ	高周波スイッチ	ブートストラップ回路または外部バイアスが必要

1.2 車載と産業用の一般的な標準

1.2.1 代表的な車載用電圧範囲

1950年代まで、ほとんどの車は6Vを使用していました。しかし、エンジンのサイズと電力の増大に伴い、エンジンで始動するために必要な電力も増加したため、自動車業界では標準のバッテリー電圧として12Vが採用されました。

それ以来、12Vは車、トラック、二輪車に広く用いられるようになり、その結果、12V電源を使用するために最適化されたバッテリー、電子部品、ワイヤ製品から成る豊富なエコシステムが生まれました。TIも、このシステム電圧を中心にハイサイドスイッチ、ハイサイドスイッチコントローラ、スマート eFuse ハイサイドスイッチの幅広い製品ラインアップを提供しています。この12V製品ラインアップの電源電圧は、最低でも公称最大18V、動作最大28Vに対応しており、35Vのロードダンプ耐性も備えています。

ケーブル配線とパワー ディストリビューションの最適化、自動車のコストと重量の低減、効率の向上のために、自動車メーカーは48Vバッテリーと電源アーキテクチャを採用し、大電力負荷に対応しています。この電圧は、特定のケーブルゲージを使用することで、より多くの電力を供給できます。48Vはまだ発展途上にあるため、バッテリー技術と電源アーキテクチャのさらなる改良と最適化が必要とされています。

TIでは、48Vシステム向けにハイサイドスイッチ、ハイサイドスイッチコントローラ、スマート eFuse ハイサイドスイッチ製品ラインアップを提供しています。48V製品ラインアップの電源電圧は、最低でも公称最大58V、絶対最大65Vに定格されており、製品によっては絶対最大70Vまで対応します。過渡電圧定格はさらに高く、約80Vに達する場合もあります。TIの48V製品ラインアップは、車載用24Vバッテリーシステムにも対応できます。図1-5に、一般的な車載用システムの電圧スレッショルドを示します。

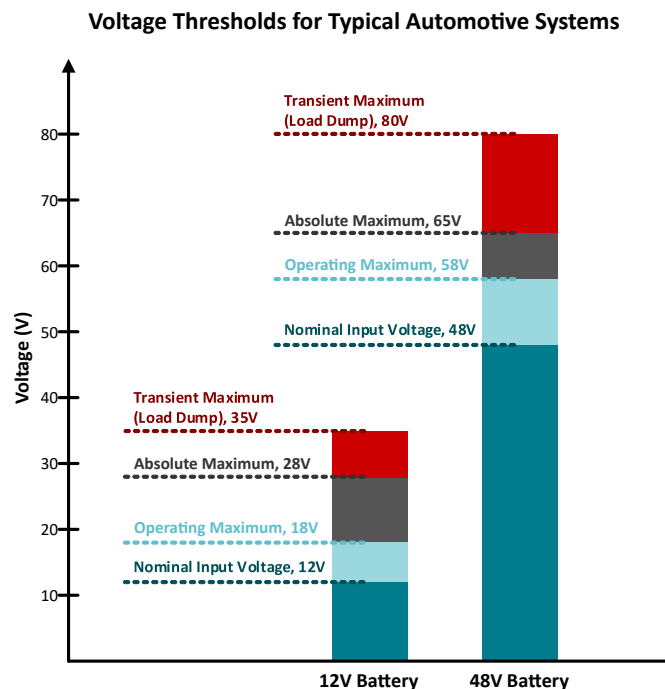


図 1-5. 標準的な車載システムの電圧スレッショルド

1.2.2 代表的な産業用電圧範囲

数十年にわたって、工場用機器や産業用制御システムには24V電源が使用されてきました。24V電源は、出力電力とノイズ耐性が高く、負荷変動による電圧降下が小さく、素手で触れても安全であるという特長があります。やがて24Vが標準的な動作電圧だった時代から、複数の標準電圧が並立する時代になりました。

TIカタログ(産業用)に掲載されているハイサイドスイッチはすべて24Vでの動作をサポートし、最小動作電圧定格は36V、絶対最大定格は40Vです。TIの旧世代の車載用ハイサイドスイッチ(TPS27S100など)は、推奨最大40V、絶対最大48Vに対応しており、産業用24Vシステムに適していました。安全性が重視される一部の産業システムでは、安

全特別低電圧 (SELV) 回路が採用されており、ハイサイドスイッチには 60V の耐電圧が必須となっています。セクション 1.2.4 では、SELV 要件についてより詳細に説明します。図 1-6 に、標準的な産業用オートメーションシステムの電圧スレッショルドを示します。

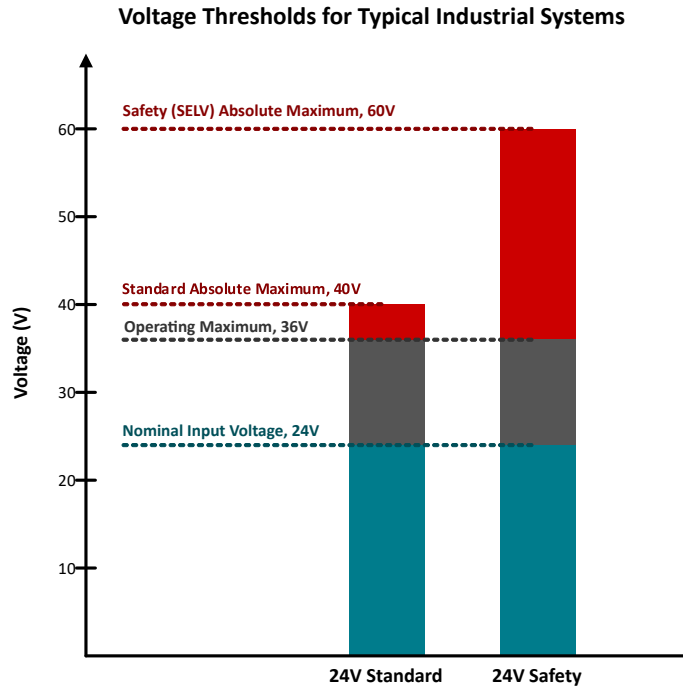


図 1-6. 標準的な産業用システムの電圧スレッショルド

1.2.3 車載用の認証および標準

Automotive Electronics Council の AEC-Q100 認定は、一連の品質要件とストレス テストの包括的なセットであり、IC が車載アプリケーションの寿命全体にわたって信頼性の高い状態で動作できることを検証します。これらのテストでは、ワイヤボンド ストレス、ESD 耐性、ラッチアップ耐性、不揮発性メモリ機能、故障および早期障害に関する検討事項、短絡の信頼性などが対象です。さらに AEC-Q100 では動作温度範囲が標準化されており、最大限の品質管理のために、品質の資料、デバイス特性評価、テスト ガイドラインが必要です。TI の車載定格デバイスはすべて AEC-Q100 認証済みです。

国際標準化機構 (ISO) の ISO7637 標準は、車載システムで発生することの多い伝導電源および出力の過渡の特性を説明し、このような過渡に対する IC の堅牢性を評価するための背景情報とテスト手順が用意されています。IC がこれらのパルスに必要なエネルギー消費レベルに耐えられない場合は、外部保護をアプリケーション レベルで実装する必要があります。TI の車載ハイサイドスイッチは、ISO7637-2 のパルス耐性定格を達成しています。

ISO16750 標準では、車載用の電気、機械、気候、および化学システムに関する環境ストレスについて詳しく説明しています。たとえば、ISO16750-2 (電気システムおよび負荷が対象) には、ロード ダンプと呼ばれる 1 つのテストが含まれています。これは、バッテリーが負荷への電力供給を停止したとき、またはオルタネータがバッテリーの充電を継続している間にバッテリーが接続解除されたときに発生する長い電圧過渡です。TI の車載用ハイサイド スwitch、コントローラ、スマート eFuse ハイサイド スwitchはいずれも、それぞれの電圧ドメインのロード ダンプ要件を満たしています。

もう 1 つの車載用 ISO 標準は ISO26262 であり、車載機能安全の詳細が定められています。この標準は、人命に対する危険の頻度と深刻さを最小限に抑えることに焦点を当てた、厳格な方法論を定義しています。TI の機能安全ホームページで、このトピックの詳細をお読みください。

その他の標準として、車載システムやコンポーネントで使用される評価と認定の手法を標準化した国際自動車作業部会 (IATF) の IATF16949 と、導電性エミッションと耐性のテスト制限が詳細に定められており、広く普及している車両 EMI 要件である国際電気標準会議 (IEC) の CISPR25 があります。

1.2.4 産業用の認証および標準

IEC61000-4 シリーズ規格では、静電放電 (ESD) (IEC61000-4-2)、電気的高速過渡 (EFT) (IEC61000-4-4)、サージ (IEC61000-4-5) など、さまざまな電圧過渡事象に対する IC 耐性を試験します。TI カタログに掲載されている多くのハイサイドスイッチは、IEC61000-4 に従って試験されています。

IEC では、安全が重要視される工場システムで一般的に使用される SELV システムも定義しています。SELV 電源の基準は、障害が発生した場合、出力が 60V DC を超えないようにすることです。SELV では、人間が高電圧導体に接触できないこと、高電圧接点の電流帰路がないこと、通電中の導体が接地していないことを検証します。TPS281C30 と TPS281C100 は、60V を超える絶対最大電圧定格を持ち、セーフティ PLC などの SELV (低電圧ロジックコントローラ) システムに適しています。

Underwriters Laboratories UL2637 は、電流制限アプリケーションで使用されるスイッチに対する認証であり、IC が高い信頼性で動作し、下流の部品を保護できることを示します。

TI の TPS272C45 は UL2637 認証を取得済みであり、設計サイクルの簡素化と製品開発期間の短縮に貢献します。

車載アプリケーションと同様に、産業用アプリケーションにも EMI 規格があります。広く普及している規格として CISPR32 があります。CISPR32 は、放射型と伝導型の電磁波と耐性に関するテスト制限を詳細に規定しています。

2 ハイサイド スイッチおよびコントローラのアーキテクチャとアプリケーションの違い

2.1 アーキテクチャの違い

ハイサイド スイッチとハイサイド スイッチ コントローラの主な違いは、メイン FET の統合です (図 1-1 を参照)。この基本的な違いにより、ハイサイド スイッチは低コストでかつソリューションのサイズについて最適化できます。一方、ハイサイド スイッチ コントローラは、構成能力に優れ、超高電流を駆動します。セクション 2.1 では、これらの相違点について、表 2-1 の要約から始めて詳しく説明します。

表 2-1. ハイサイド スイッチとコントローラ アーキテクチャの違い

	ハイサイド スイッチ	ハイサイド スイッチ コントローラ
FET の構成	内部	外部
ゲート制御	内部	外部 ¹
最大電流	内部的に制限	外部 FET の選択により制限
過電流時の動作	電流制限	サーキット ブレーカ
電流センスの実装	外部的に設定された抵抗を除き、完全に内部的	外部電流センス シャント抵抗、または MOSFET オン抵抗センシング
ダイレクト	単方向	双方向 ²
誘導性放電	誘導性クランプを内蔵	なし
FET 温度センシング	監視機能を統合	リモート監視 (BJT または NTC を使用)

1. 外部ゲート制御により、任意のスルーレート操作、高速パルス幅変調 (PWM)、複数の MOSFET ゲートの並列駆動を実行できます。
2. 双方向 MOSFET ドライブにより、逆電流ブロック、双方向電流監視、大容量のプリチャージが可能です。

ハイサイド スイッチでは FET が内部にあるため、ゲートおよびゲートドライバも完全に内部に存在し、最大限の性能と信頼性を実現します。ハイサイド スイッチのオンおよびオフのスルーレートは、結果として内部回路によって決定されます。ハイサイド スイッチ コントローラでは、ゲートドライバの出力は本質的に露出しているため、任意のスルーレート操作、高速パルス幅変調 (PWM) が可能で、複数の MOSFET ゲートを並列駆動できます。

ハイサイド スイッチの最大電流は主に内部 FET によって決定されるため、電流制限と電流センス アーキテクチャは、外部設定された抵抗を除き、完全に内部用になります。これにより、設計全体の簡素化を維持しながら、比較的高いレベルのプログラマビリティが可能になります。一方、ハイサイド スイッチ コントローラは任意の電流駆動用に開発されており、負荷電流自体を導通させないため、電流制限および電流センス アーキテクチャも任意にプログラマブルである必要があります。そのための 2 つの方法として、電流センス シャント抵抗または MOSFET オン抵抗センシングを使用する方法があります。電流センス抵抗または MOSFET の電圧降下は検出されると電流に変換され、次に外部抵抗によって再度電圧に変換されます。その後、電圧が電流制限のため内部スレッシュホールドと比較され、電流検出のために外部 ADC によって読み取られます。これにより、複数ポイントの柔軟性を利用して、入力電圧の降下とコストを最小限に抑えるように電流センス抵抗を選択できます。また、正確なスレッシュホールド制御のために、より大きな値の電流制限抵抗を選択でき、1A ~ kA 未満の範囲の電流を正確に検出できます。

ハイサイド スイッチは、ダウンストリーム負荷に単方向で電力を供給するように設計されています。一方、ハイサイド スイッチ コントローラは双方向 MOSFET を制御でき、逆電流ブロック、双方向電流制御、大きな出力容量のためのプリチャージなどの重要な機能を実現します。ハイサイド スイッチは、1 つのパワー FET だけで逆電流をブロックすることはできませんが、定電流容量充電機能によって大負荷容量を充電できます。(注: TPS274C65 は、外部ブロッキング FET 用のドライバを内蔵しています。)また、ハイサイド スイッチ コントローラは本質的に誘導性負荷を放電したり、ハイサイド スイッチのように定電流をレギュレートしたりすることはできません。

FET が内部にあるため、ハイサイド スイッチの FET とコントローラの温度を簡単に監視できます。ハイサイド スイッチ コントローラでは、BJT または負の温度係数 (NTC) サーミスタを使用して、FET の温度をリモート監視する必要があります。

2.2 アプリケーションの違い

ハイサイド スイッチおよびコントローラは一般に、ハイサイド駆動デバイスを搭載したモジュールに対してローカルでないオフボード負荷または負荷への電源供給に使用されます。ハイサイド スイッチ コントローラは、入力保護デバイスとしても使用できます。[セクション 2.2](#) では、負荷駆動アプリケーションと入力保護アプリケーションでパワー スイッチ デバイスを決定する際の重要な要素を、[表 2-2](#) の要約から開始して確認します。

表 2-2. ハイサイド スイッチとコントローラのアプリケーションの違い

	代表的なアプリケーション	主な違い
ハイサイド スイッチ	15A 未満の負荷駆動	内蔵 FET 調整可能な電流制限 OCP 負荷診断
ハイサイド スイッチ コントローラ	15A を上回る負荷駆動 (または高い突入電流要求を伴う低電流負荷) バッテリーの接続解除 DC/DC コンバータの接続解除	外部 FET サーキット ブレーカ OCP 双方向 FET 駆動機能 双方向電流監視 逆極性保護

2.2.1 負荷駆動

オフボード負荷駆動の場合、ハイサイド スイッチとハイサイド スイッチ コントローラのどちらを使用するかはかなり簡単に決定できます。双方の機能セットはかなり重複しているため、決定は負荷電流を基に行います。可能な限り、設計が最も簡単であるハイサイド スイッチを使用することを推奨します。また、FET 内蔵型の設計は、通常、外部 FET ソリューションよりコスト競争力が高くなります。ただし、車載用パワー ディストリビューション ボックスなどでは、どの統合型ソリューションでも負荷によって要求される公称電流が高すぎるがよくあります。この場合、並列 FET と同様にハイサイド スイッチ コントローラの方が適切です。また、ハイサイド スイッチによって公称負荷電流を制御できますが、突入電流の要求が高くなりすぎるエッジ ケースもあります。このような場合は、ハイサイド スイッチ コントローラも適しています。

2.2.2 入力保護とサーキット ブレーカ

ハイサイド スイッチ コントローラ独自の 2 つの機能は、入力保護とサーキット ブレーカです。大電流の入力保護の場合、ハイサイド スイッチ コントローラは DC/DC コンバータまたはバッテリーの出力側に配置されます。ここでは、ハイサイド スイッチ コントローラが突入電流を制御し、構成に応じて短絡保護回路 (順方向) または逆電流ブロックのいずれかを採用します。短絡保護回路構成では、過電流応答タイプはラッチオフで、デバイスを再びオンにするためにはマイコンの介入が必要です。逆電流ブロックと逆短絡保護の両方が必要なシステムでは、ハイサイド スイッチ コントローラと理想ダイオードコントローラを組み合わせることができます。または、両方の機能が統合された理想ダイオード コントローラを使用することもできます。大電流機能を備え、車載用 AEC-Q100 認定を取得済みであることから、理想ダイオード コントローラとハイサイド スイッチ コントローラはどちらも、車載入力電力保護に対する一般的な選択肢です。理想ダイオード コントローラやホット スワップ コントローラなどの入力保護用に設計されたデバイスは、高速ターンオフを可能にするためにより強いシンク電流を優先します。ハイサイド スイッチ コントローラは多くの場合、強力なソース電流と強いシンク電流の両方を特長としており、入力保護と出力保護の両方に使用できます。電流が低い入力保護アプリケーション (特に産業用やエンタープライズ アプリケーション) では、eFuse (統合型ホット スワップ) はサイズが小さく、電力密度が高いことからより一般的なソリューションです。

[表 2-3](#) に、ハイサイド スイッチ コントローラと理想ダイオード コントローラの主な違いを示します。理想ダイオード コントローラの詳細については、『[理想ダイオードの基礎](#)』を参照してください。入力保護機能と同様に、ハイサイド スイッチ コントローラでもサーキット ブレーカ機能を実行できます。DC/DC サーキット ブレーカ アプリケーションでは、DC/DC コンバータのどちらかの側で 2 つの双方向 FET ハイサイド スイッチ コントローラを使用できます。この構成では、ハイサイド スイッチ コントローラが突入電流を制御し、過電圧状態を管理し、DC/DC コンバータからのアップストリームとダウンストリームの両方で電流をブロックします。

このアプリケーションの性質は双方向であるため、双方向電流監視機能と I²T をベースとする短絡保護機能を備えたハイサイド スイッチ コントローラが最適な保護を実現します。バッテリー管理システム (BMS) のサーキット ブレーカ機能では、正のバッテリーレールでハイサイド スイッチ コントローラを使用できます。双方向 FET を搭載したハイサイド スイッチ コントローラでは、充電パスと放電パスを個別に制御できます。さらに、この BMS 切断スイッチ構成では、ハイサイド スイッチ コ

トローラが低静止電流、逆極性保護 (入力と出力)、電流検出を実現します。車載対応の DC/DC および BMS サーキットブレーカ アプリケーションは通常、大電流 (約 150A、1kA ピーク) であるため、外部 FET の設計が必要です。

表 2-3. ハイサイドスイッチ コントローラと理想ダイオード コントローラの比較

	ハイサイドスイッチ コントローラ	理想ダイオード コントローラ
FET の構成	外部 (シングルまたは双方向)	外部 (シングルまたは双方向)
標準ソース電流	0.5A~3.7A	0.011A~0.06A
標準シンク電流	2A~4A	1.5A~2.7A
逆電流ブロック (オンおよびオフ状態)	なし ¹	あり
入力逆極性保護	あり	あり
出力逆極性保護	あり ²	なし
OCP 動作 ³	サーキット ブレーカ	サーキット ブレーカ ²
過電圧保護	あり ²	あり ²
車載分野のロード ダンプ互換性	あり	あり

1. オン状態では、ハイサイド スイッチ コントローラは逆電流を検出し、マイコンに動作を指示する信号を送信できますが、保護機能は内蔵されていません。
2. 一部のデバイスのみで使用可能
3. 電流制限は、出力電流を特定の値にクランプします。この値は、プログラマブルまたは固定値のいずれかです。I²T 保護により、特定の電流時間プロファイルに従って出力電流がオフになります。

2.3 概要および製品ファミリの選択マトリクス

TI のハイサイド スイッチとコントローラ製品ラインアップから選択する際は、デバイスの主なアプリケーションに注目してください。低電流から中電流の負荷の駆動とパワー ディストリビューションについては、内蔵のハイサイド スイッチを参照してください。大電流負荷の駆動と接続解除スイッチングの場合は、外部 FET ハイサイド スイッチ コントローラの柔軟性を活用することもできます。従来の溶断ヒューズをエミュレートしたり、ワイヤ ハーネスを最適化したりする場合は、スマート eFuse ハイサイド スイッチの内蔵 I²T ベースの過電流保護を利用します。

ハイサイド スイッチまたはコントローラと、他のパワー スイッチ製品ファミリの比較に自信がない場合は、システム設計と次の 4 つの主要な要素に考慮してください。

1. 電源スイッチの位置 (出力電源保護または入力電源保護)
2. システム入力電圧 (例: 12V または 48V バッテリ)
3. 目的に合う過電流動作 (電流の制限、回路の切断、または溶断式ヒューズのエミュレート)
4. 出力電流 (内部または外部 FET を決定)

パワー スイッチの位置と目的の過電流動作 (ある場合) を決定することで、最適な機能セットを備えた製品ファミリを絞り込むことができます。必要な出力電流によって、内蔵型か外付け型か FET 製品ファミリの選択が左右されます。どの出力電流で内蔵 FET 型と外付け FET 型を使い分けるかについて、明確なスレッショルドはありません。TI は新しいデバイスを定期的にリリースしているため、製品選択表を参照し、その時点で利用可能な最大出力電流を確認してください。最大出力電流が足りない場合は、外部 FET デバイスを検討してください。最後に、システムの入力電圧を考慮することで、その電圧範囲に対応する製品ファミリに絞り込むことができます。出力電流と同様に、これは TI の新製品の投入に伴って変化する可能性があるため、最新の選択肢については製品選択表を確認してください。

表 2-4 は、この方法論を製品ファミリの選択マトリクスとして視覚的にまとめたものです。製品ファミリを選択した後、TI.com の製品選択表を利用して、パラメータ、機能、パッケージのタイプ、パッケージのサイズをフィルタリングし、特定のデバイスを見つけてください。

表 2-4. ハイサイド パワー スイッチ用製品ファミリの選択マトリクス

電圧	出力保護			入力保護				
	OCP: 電流制限	OCP: サーキットブレーカ	OCP: I ² T	OCP: 電流制限	OCP: サーキットブレーカ	OCP + 逆電流ブ ロック	逆電流保護	逆電流監視
3V-5V	ロードスイ ッチ	X	X	eFuse (統合型 ホットスワップ)	eFuse (統合型ホ ットスワップ)	eFuse (統合型ホ ットスワップ)		X
12V	ハイサイド スイッチ	ハイサイドスイ ッチコントロー ラ	内蔵 FET: スマート eFuse ハイサイドスイ ッチ	内蔵 FET: eFuse (内蔵ホ ットスワップ) 外部 FET: ホットスワップ コントローラ	内蔵 FET: eFuse (内蔵ホ ットスワップ) 外部 FET: ホットスワップコン トローラまたはハイ サイドスイッチコ ントローラ	内蔵 FET: eFuse (内蔵ホ ットスワップ) 外部 FET: 理想ダイオード / ORing コントロー ラ	理想ダイオード / ORing コントロー ラ	ハイサイドスイ ッチコントロー ラ
24V			外部 FET: スマート eFuse ハイサイドスイ ッチ					
48V				eFuse (統合型 ホットスワップ)		内蔵 FET: eFuse (内蔵ホ ットスワップ) 外部 FET: 理想ダイオードコ ントローラ		

3 ハイサイドスイッチとコントローラの主な特長

ハイサイドスイッチおよびコントローラの代表的な機能は、保護機能と診断機能の2つのカテゴリに分類されます。保護機能は故障条件発生時に動作します。一方、診断機能は故障状態の識別と報告のみを行います。どちらの種類の機能も負荷と故障の状態がベースになっているため、検出メカニズムと保護メカニズムが一統合されています。[セクション 3](#)では、TIのほとんどのハイサイドスイッチとコントローラ ([表 3-1](#) の概要を参照) で一般的に見られる、主な保護機能と診断機能について説明します。

表 3-1. ハイサイドスイッチとコントローラの主な特長

保護機能	診断機能
過電流保護 (OCP)	電流検出
サーマル シャットダウン (絶対および相対)	電圧検出
低電圧誤動作防止 (UVLO)	開放負荷検出
過電圧誤動作防止 (OVLO)	バッテリーへの短絡の検出
誘導性負荷への対応	接合部温度センシング
逆極性保護	

3.1 保護機能

3.1.1 過電流保護

ハイサイドスイッチにおける過電流保護の最も標準的な形式は、電流制限応答です。内蔵 MOSFET は、故障状態中に出力電流を安全なレベルに変調します。従来のハイサイドスイッチには、広範な負荷要件に対応するため、内部的に固定された電流制限があります。TI のハイサイドスイッチの多くは、従来の固定電流制限よりも可変電流制限範囲が低くなっています。電流制限を低く設定すると、短絡または部分的な負荷の短絡 (ソフト短絡) 時の故障エネルギーと出力電流が大幅に低減されます。故障エネルギーと電流を低減することで、システム全体を次の方法で改善できます。

- サイズとコストの削減 (PCB パターンやモジュールのコネクタなど、電流を伝送する部品を使用)
- 短絡発生時の電源 (VS ピン) の妨害の低減
- 1 つ以上のチャネルで過負荷電流を考慮するための電源に対して追加される予算の削減
- ダウンストリーム負荷の保護機能の向上

TI のほとんどのハイサイドスイッチでは、外付けの抵抗により電流制限を調整できます。遠隔測定機能を備えたデバイスでは、この電流制限はプログラマブルです。このトピックの詳細については、『[スマート パワー スwitch の可変電流制限](#)』を参照してください。

最近の世代のハイサイドスイッチには、他にも電流制限方式があります。TI 製品ラインアップの中では、設定されたレベルでのクランプ電流が引き続き主な応答ですが、クランプには変動があり、デバイスのコントローラと FET の温度の差異を制限し、デバイスが相対的なサーマル シャットダウンに移行するのを防止するために、電流制限を動的に制御します。この動的なクランプ機能はサーマル レギュレーションと呼ばれます。サーマル レギュレーションによって、デバイスはより大きな容量性負荷を充電し、同じ容量性負荷をシャットダウン前により長期間充電できます。

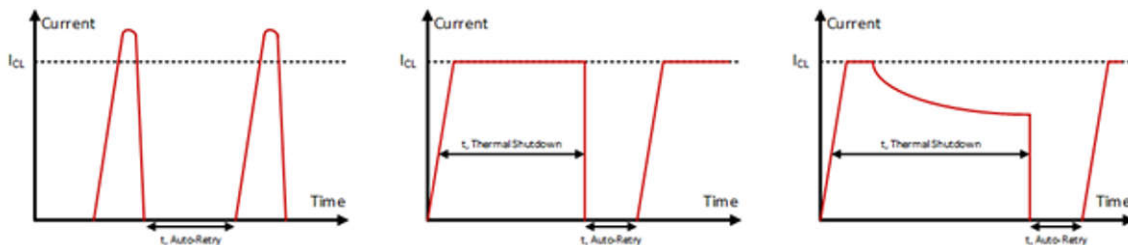


図 3-1. 3 つの異なる電流制限応答の電流と時間のグラフ: 即時シャットダウン (サーキット ブレーカ) (左)、電流クランプ (中間)、サーマル レギュレーションによる電流クランプ (右)

3.1.2 サーマル シャットダウン

3.1.2.1 絶対サーマル・シャットダウン

ハイサイドスイッチでは、さまざまな理由で過熱条件が発生することがあります。例えば、過電流の持続時間、電流クランプによる大電力消費、環境要因、付近にある部品による PCB 発熱などが挙げられます。過熱イベント時の永続的な損傷を防止するために、ハイサイドスイッチとハイサイドスイッチコントローラには、過熱条件を検出し、発生したときにメイン FET をオフにする機能が求められます。ハイサイドスイッチとコントローラは、2 種類の方法でこれを行います。

ハイサイドスイッチには、デバイスコントローラに温度センサがあります。コントローラの温度が特定の値 (通常は 150°C を上回る温度) に達すると、デバイスはそれを検出して、マイクロ秒以内に FET をシャットオフします。サーマル シャットダウンの発生を繰り返しても、TI のハイサイドスイッチは信頼性が損なわれることはありません。

ハイサイドスイッチコントローラは、デバイス自体に大量の電力を消費することがないため、デバイスの温度を監視する必要はありません。その代わりに、ハイサイドスイッチコントローラは外部 FET の温度を監視する必要があります。そのため、外部 FET に隣接して配置された BJT または NTC サーミスタを介して温度を監視します。同様に、FET の温度が 150°C を上回ると、デバイスは直ちにオフになります。

3.1.2.2 相対サーマル・シャットダウン

ハイサイドスイッチの場合、FET からコントローラに熱が伝搬するまでに時間がかかるため、TI のハイサイドスイッチには 2 番目のタイプのサーマル シャットダウンである「相対サーマル シャットダウン」が実装されています。この実装では、FET 上で 2 番目の温度センサを使用して、FET の温度をコントローラの温度と比較します。温度差が一定の量 (通常は 60°C 程度) を超えると、デバイスはシャットオフし、温度差が減少すると再度イネーブルになります。相対サーマル シャットダウンは、負荷電流が非常に高速かつ大幅に増加した場合にのみ発生するため、電流制限に基づいてグラウンドへの短絡保護を行います。

3.1.2.3 低電圧誤動作防止および過電圧誤動作防止 (UVLO および OVLO)

TI のハイサイドスイッチを含む大半の最新型 IC には、特定の入力電圧未満にデバイスを既知の安全な状態に確実にパワーダウンする低電圧誤動作防止回路が内蔵されています。TI のハイサイドスイッチは UVLO スレッシュホールドが低いいため、自動車のコールド クランクなどの一般的な産業イベントにおいても高い性能を発揮できます。

TI の一部のハイサイドスイッチとコントローラには過電圧誤動作防止機能も搭載されており、入力電圧が特定の値を上回ると出力がオフになります (TPS281C30 や TPS4811-Q1 など)。OVLO 要件は通常、産業用 SELV 規格と車載用 48V 動作範囲によって決定されます。

3.1.2.4 誘導性クランプ

インダクタは、外部電圧が印加されると電流の変化に抵抗します。誘導性負荷を駆動することで、2 つの重要な動作が実現します。つまり、ターンオン時は電流スルーレートが遅くなり、誘導性のターンオフ時は出力ブルダウンが低下します。ターンオン時は、電流スルーレートが遅いほど、デバイスが過電流イベントを検出する時間が長くなるため、インダクタンスに問題が発生しません。

ただし、誘導性負荷の駆動中にハイサイドスイッチがオフになると、インダクタは電流の減少に抵抗します。理想的な状況では、ハイサイドスイッチがオフになると、電流は瞬時に 0A になります。式 1 を使用して、この状況が発生したときのインダクタ電圧の値を評価できます。

$$V_{inductor} = L_{inductor} \times \frac{di}{dt}_{inductor} \quad (1)$$

電流がゼロでない値から瞬時に 0 に減少すると、 $di/dt_{inductor}$ は負の無限大であるため、 $V_{inductor}$ は負の無限ボルトになります。グラウンドは安定したリファレンスであるため、ハイサイドスイッチの出力ノードが負の無限大電圧に移行し、部品とシステムの損傷が発生します。実際には、すべてのノードには、ある程度の寄生容量が存在します。良好なアナログ設計では、デカップリングと ESD コンデンサの使用が指定されていますが、これらの容量は小さく、電流スルーレートはわずかに低減されるのみです。そのため、ハイサイドスイッチによって誘導性負荷がオフになると、負荷の正のノードは急速に負の値に移行されます。ハイサイドスイッチと周囲の回路を保護するために、TI のハイサイドスイッチには VDS クランプと呼ばれる動的なドレインソース間クランプが実装されています。この回路は、FET ソースがドレインを下回る特定の電圧 (一般に約 40V) に達すると FET を部分的にオンにします。これにより、ドレインソース間電圧が VDS クランプ電圧に制限され、インダクタに蓄積されたエネルギーが迅速に放電されます。

VDS クランプ機能により、誘導性負荷で誘導性エネルギーを迅速に放散するための洗練された統合設計を実現することができます。ただし、VDS クランプが起動すると、FET での消費電力が大きくなり、長時間起動した場合にデバイスに損傷を与える可能性があります。そのため、VDS クランプは特定の量の誘導エネルギーのみを安全に消費できます。負荷の最大誘導エネルギーがハイサイドスイッチの放電定格を超える場合は、フライバックダイオードや TVS クランプなどの外部設計を使用する必要があります。

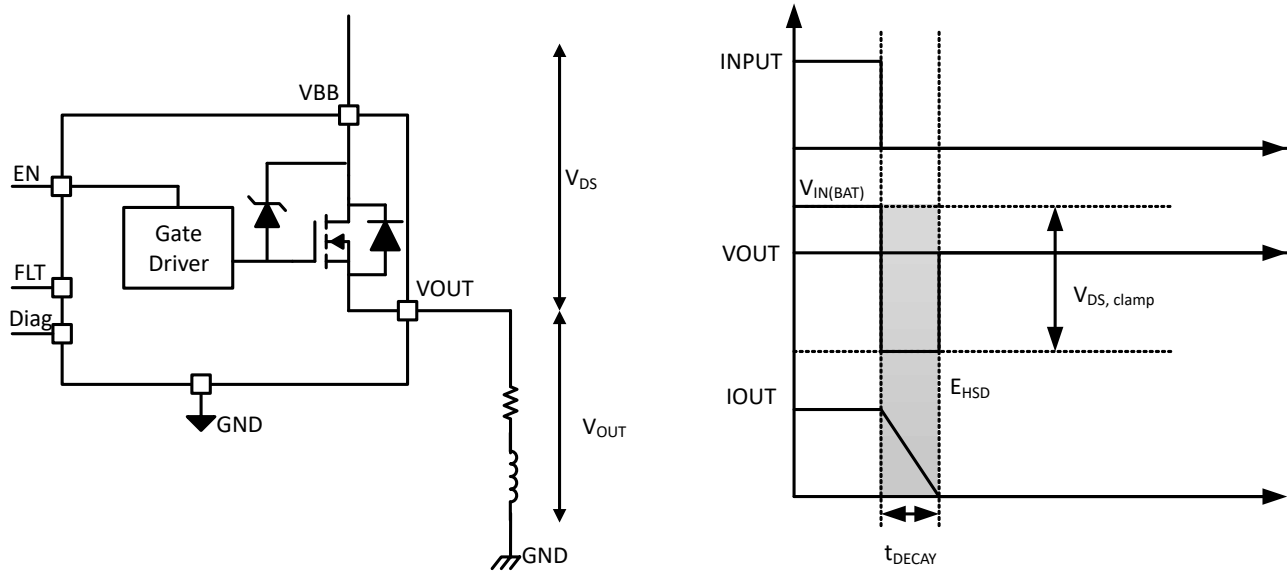


図 3-2. 誘導性負荷を駆動するハイサイドスイッチの簡略化された回路図 (左) とタイミング図 (右)

3.1.3 逆極性保護

システムの入力または出力で逆極性条件が発生することがあります。入力逆極性保護を実現するために、PFET、ディスクリットダイオード、または入力保護 IC をシステム入力と直列に配置します。車載用バッテリーの配線が誤接続されているときなどに入力で逆極性のイベントが発生すると、入力ブロッキング デバイスはハイインピーダンスになり、すべての電流が流れないようにして、基板上のデバイスを保護します。入力逆極性保護には、テキサス インストルメンツの逆極性プロテクタ (LM74500-Q1 など) または理想ダイオードコントローラ (LM74700-Q1 など) を使用することを推奨します。TI のハイサイドスイッチおよびコントローラには、出力逆極性保護機能が実装されています。

3.1.3.1 グランドネットワーク

入力逆極性保護だけでなく、グラウンドネットワークもハイサイドスイッチを逆極性状態から保護する方法として用いられます。グラウンドネットワークでは、抵抗とダイオードを並列に利用して、ハイサイドスイッチの IC グランドをシステムグラウンドに接続します。これにより、逆極性状態ではデバイスの GND ピンへの電流が制限されますが、入力が適切に接続されていると通常動作が可能になります。

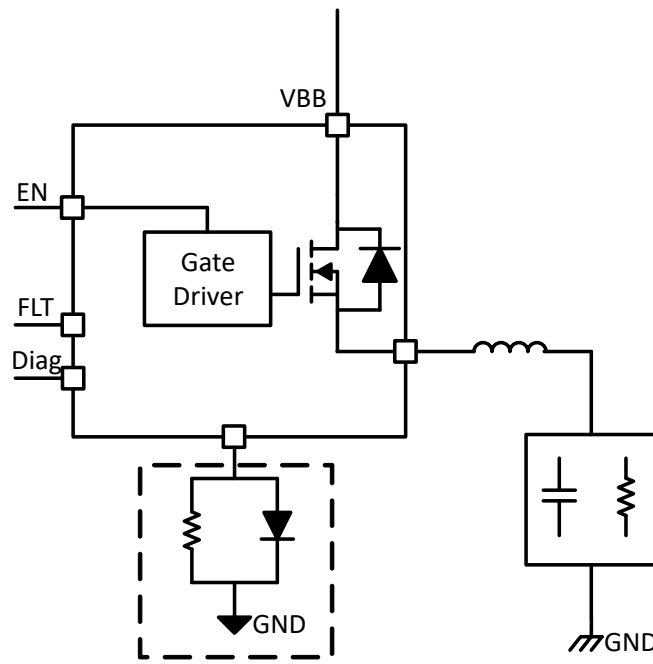


図 3-3. グランド ネットワークとハイサイド スイッチの概略回路図

このグランドネットワークは、デバイスの GND ピンのみを保護します。FET ソースが最終的に接続されているのは IC GND ではなくシステム グランドなので、逆極性条件が発生している間に電流が FET ソースからドレインに流れる可能性があります。この電流は負荷によって制限されません。FET のボディ ダイオードに電流が流れてデバイスで大きな消費電力が発生するのを防止するため、逆極性条件のときには FET がオンになります。グランド ネットワーク関連の部品は、複数のハイサイド スイッチで共有できます。

3.1.3.2 ハイサイド スイッチ コントローラの逆極性保護と逆電流保護

ハイサイド スイッチとは異なり、一部のハイサイド スイッチ コントローラには 2 番目のゲートドライブが搭載されています。2 番目のゲートドライブの主な目的の 1 つは、逆電流ブロックと逆極性保護を行う双方向 FET を制御することです。一方、内蔵のハイサイド スイッチはバス FET をオンにして、保護のために電力を放散します。双方向 FET を使用する場合、ハイサイド スイッチ コントローラは、オフ状態で逆電流をブロックし、電力を多重化して、双方向過渡が想定される DC/DC コンバータの入出力で使用することができます。このような機能を備えているため、ハイサイド スイッチ コントローラの使用事例は、ハイサイド スイッチよりも幅広くなっています。

また、ハイサイド スイッチ コントローラには逆極性保護機能が内蔵されており、入力逆極性の状態で外部コンポーネントを使用せずに IC を保護します。

3.2 診断機能

3.2.1 アナログ電流センス

ハイサイドスイッチおよびコントローラの最も重要な診断機能の1つは、電流検出、増幅、電流の報告機能です。ハイサイドスイッチでは、アナログ電流センス機能は電流ミラーを使用して負荷電流の $1/K_{SNS}$ を供給します。ここで、 K_{SNS} は出力電流とセンス電流との比です。この電流は、センス抵抗 (R_{SNS}) を経由してセンスピン (SNS または CS) からグラウンドに駆動されるため、生成されるアナログ電圧は ADC で読み取ることができます。 R_{SNS} 抵抗をある程度操作することにより、読み取ることができる電流範囲を最大化することができます。多くのハイサイドスイッチでは、ロジック High の形を取って SNS ピンでフォルトを通知することもできます。これらのデバイスでは、 R_{SNS} 値の上限があるため、ロジック High 出力のマージン (ヘッドルーム電圧と呼ばれる) を確保する必要があります。

ハイサイドスイッチコントローラの場合も、同様に電流の測定と通知は、アナログ電流の監視出力 (IMON) を通じて行われます。ハイサイドスイッチとは異なり、ハイサイドスイッチコントローラは、パス FET と直列に配置された外付け電流センス抵抗 (R_{SNS}) から読み取りを行います。この抵抗の端子は、別の外部監視抵抗 (R_{IMON}) への電流を変調するコンパレータへの入力として機能します。 R_{IMON} の電圧を読み取ることで、外部 ADC から負荷電流を判断できます。この電流監視方式の電圧範囲は、IMON ピンの内部クランプによって上限が制限されています。下限は、ソース電圧 (VS) によって制限されます。

一部のハイサイドスイッチコントローラのもう1つの興味深い特長は、両方向の電流を測定できることです。この特長は、2つの電源を使用するアプリケーションで役立ちます。たとえば、一部の電気自動車では、高電圧バッテリーからパワーエレクトロニクスや2次バッテリーに電圧を降圧する DC/DC コンバータが使われています。2次バッテリーレールのスイッチでは、電力負荷に対して充放電されるため、電流が両方向に流れます。ハイサイドスイッチコントローラは、RIMON の電流の大きさを示し、I_DIR ピンの High または Low の信号でその電流の方向を報告できます。

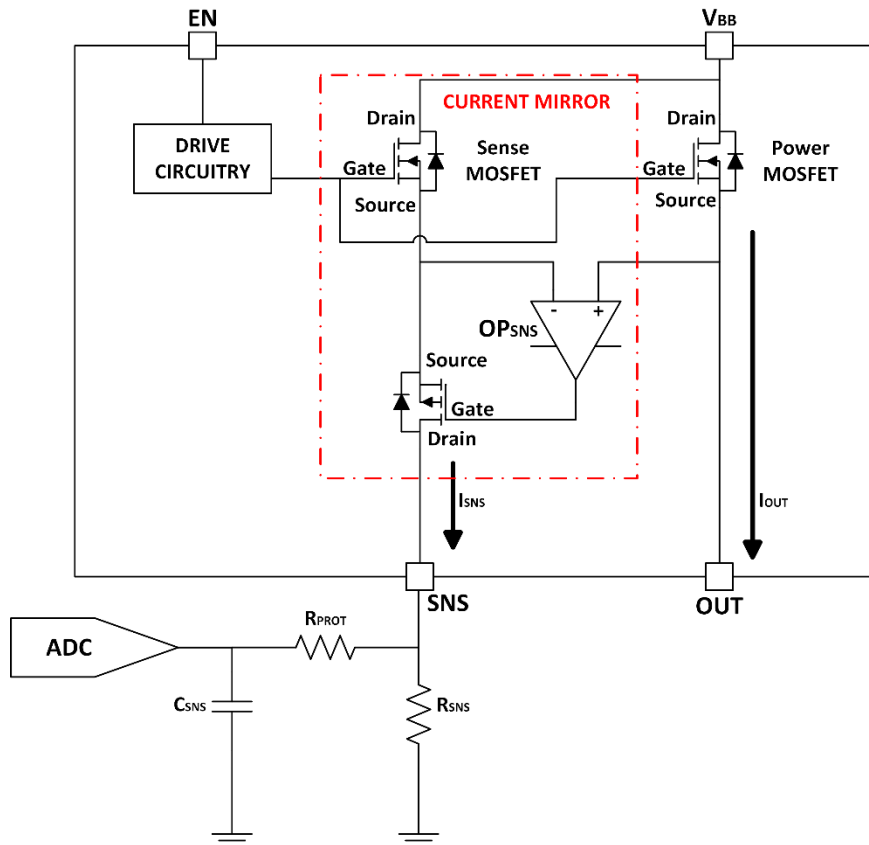


図 3-4. 基本的なハイサイドスイッチ電流センスの実装

3.2.2 開放負荷およびバッテリー短絡の検出

オフボード負荷を駆動する際、開放負荷故障が原因で、ワイヤの破損、半田付けのギャップやスイッチと負荷 (または負荷とグランド) の間の導通経路におけるその他の物理的な切断が発生する可能性があります。システムの信頼性テストに合格するには、これらの障害の発生率が極めて低くなければなりません。それにもかかわらず、ハイサイド スイッチでは開放負荷が発生が検出されるのが一般的です。バッテリーへの短絡とは、スイッチの入力とスイッチの出力が互いに短絡したときに発生する故障です。開放負荷およびバッテリーへの短絡故障は、故障の発生時と同じグネチャを示すため、検出メカニズムと報告メカニズムは同じです。

オフ状態で開放負荷またはバッテリーへの短絡を検出するために、ドレインとソース間の弱いプルアップが有効になり、ドレインとソース間の電圧が測定されます。この差がデバイスの開放負荷検出スレッシュホールドよりも低い場合、電圧は実質的に同じであり、デバイスは出力がグランドへ放電されていないと判定します。したがって、バッテリーへの短絡故障のように、スイッチの端子が短絡しているか、導通経路で何らかの破損が発生している可能性があります。FLT ピンが Low になると、SNS はロジック High でこれを通知します。

オン状態でこれらの故障を検出するには、追加のインテリジェンスが必要です。これらの障害はスイッチがオンの場合に発生しますが、スイッチを流れる電流はごくわずかであるか皆無です。これを検出するために、マイコンは ADC で報告された低いセンス電流を、通常の条件で予測される電流レベルと比較します。次に EN 信号が High であることをクロスチェックすることで、マイコンは開放負荷またはバッテリーへの短絡があることを把握できます。

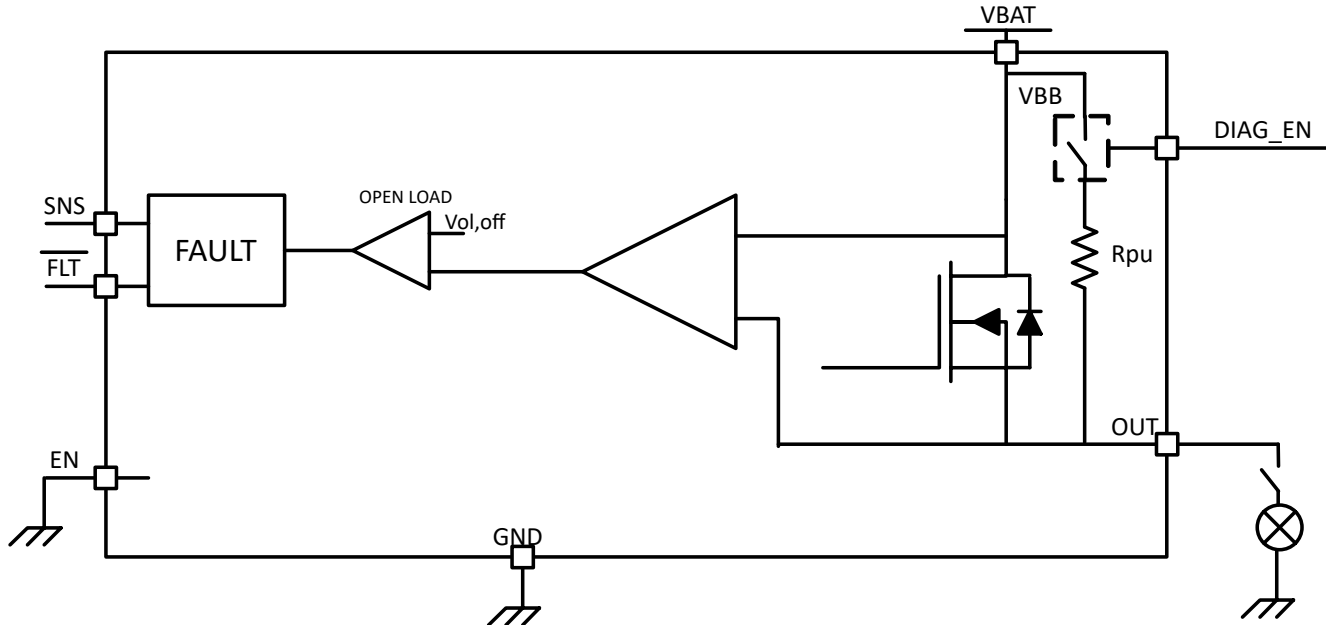


図 3-5. ハイサイド スイッチに内蔵されている一般的な開放負荷検出方式

内蔵 ADC とプルアップ ネットワークを備えた SPI 制御ハイサイド スイッチとスマート eFuse ハイサイド スイッチには、オンおよびオフ状態でこれらの故障を検出し、故障を区別する機能があります。

3.2.3 接合部温度センシング

一部の標準的なハイサイド スイッチ デバイスと、スマート eFuse ハイサイド スイッチを組み合わせると、内蔵 FET の接合部温度を読み出すことができます。GPIO インターフェイスを備えたデバイスでは、内部温度センス回路が SNS ピンに多重化され、ADC で読み取られます。SPI ハイサイド スイッチについては、内蔵 ADC が SPI インターフェイス経由で温度情報を送信します。

GPIO インターフェイスを搭載したハイサイド スイッチ コントローラの場合、パワー FET 付近の温度センスピンは NTC サーミスタ経由で電圧を読み取ります。この電圧が十分なレベルに達すると、電圧を FET 温度を示すアナログ値として読み取ることができます。コントローラは、温度スレッシュホールドをプログラム可能です。このスレッシュホールドを超過した場合、コントローラを保護するために FET をシャットオフするようコントローラに信号を送信します。

3.2.4 入力および出力の電圧スイング

入力および出力の電圧センシングは、ハイサイドスイッチおよびコントローラ両方の機能です。この機能は、FETのドレインとソース電圧を単純に読み取り、保護データを提供し、診断データを送信します。ハイサイドスイッチコントローラでは、電流センスピンを電流センス抵抗の端子に接続するのではなく、ドレインとFETのソースに接続できます。そのため、VDSセンスは電流を読み取る方法の2つの方法の1つです。ハイサイドスイッチの場合、具体的には内部センス電流が電源電圧を読み取ることができ、マイコンのADCによる読み取りのためにこの値をセンスピンに出力します。

SPI制御のハイサイドスイッチとスマートeFuseのハイサイドスイッチ内で入力電圧と出力電圧を個別に読み取り、マイコンによる抽出のために読み取り可能なレジスタに格納することができます。内部ADCで抽出された電流および温度のデータに加えて、FETのステータスに関する熱的および電気的な画像をいつでもキャプチャできます。

4 特殊機能

代表的な保護機能および診断機能以外に、特定のハイサイドスイッチやコントローラには特殊な機能があります。これらの特殊な機能は多くの場合、ワイヤハーネス保護機能を備えたスマート eFuse ハイサイドスイッチなど、特定の最終アプリケーションに役立ちます。セクション 4 では、これらの特殊な機能について詳しく説明します (以下に要約)。

- 静電容量式充電機能
- シリアル通信と対応する機能
- 強化型 EFT
- 逆電流ブロッキング
- LED の駆動
- ウォッチドッグ タイマを内蔵
- 巡回冗長検査 (CRC)
- 定常状態のプログラマブル PWM スイッチング
- プログラマブルな時間電流特性 (I^2T)
- 低消費電力モード (LPM)
- パワー サイクル後のメモリ保持 (NVM または EEPROM)

4.1 静電容量式充電機能

標準的なハイサイドスイッチの容量性負荷充電は、クランプ電流制限によって実現されます。すでに説明したように、一部のデバイスの電流制限は、負荷が充電されるか、デバイスが熱的制限に達するまで、過電流を一定のレベルに保持するようにプログラムできます。この方式の主な目標は、容量性負荷の初期化によって生じる大きな突入電流や損傷の可能性を回避することです。ハイサイドスイッチコントローラでは、メインのパワー FET と並列に接続した 2 次側の小型 FET を使用するか、メインの FET ゲートに RC 遅延を配置することによって、大容量性充電を実現できます。2 次側のパスは、パッシブ抵抗をベースとしたプリチャージ方式として動作します。

SPI 制御のハイサイドスイッチ (および、TPS272C45 などの GPIO 制御のデバイス) は、構成可能なデュアル段電流制限手法を実装しています。最初の段または突入段では、長さや電流制限をプログラムできます。この段の電流制限は、電流をクランプして突入電流を制御します。データシートには、この段で利用できる、さまざまな期間と電流制限値が指定されています。2 段目または定常状態の段では、突入段に対して独立して電流制限をプログラムできます。このデュアルステージ方式の用途は単なる容量性負荷だけではありません。モーターストール電流や電球など、独自の突入プロファイルを持つあらゆる負荷に対して構成することもできます。SPI インターフェイスコントローラはリニア充電方式を備えており、メイン FET のパスまたは 2 次側 FET のパスのいずれかによって電流が特定のレベルにクランプされます。2 次側パスを内蔵したバリエーションと、外部の 2 次側パスを制御するピンを搭載したバリエーションの 2 種類があります。また、PWM 充電方式も利用することができ、調整可能なデューティサイクルおよび周波数の PWM 信号によって、メインパスのゲートがトリガされます。また、短絡保護ベースのアプローチが採用されており、短絡保護がトリガされるまでメイン FET をオンにします。FET は保護のためにディセーブルになり、自動の再試行期間が経過すると、短絡保護が再度トリガされるまで FET はオンに戻ります。これは、容量性負荷が完全に充電されるまで繰り返されます。

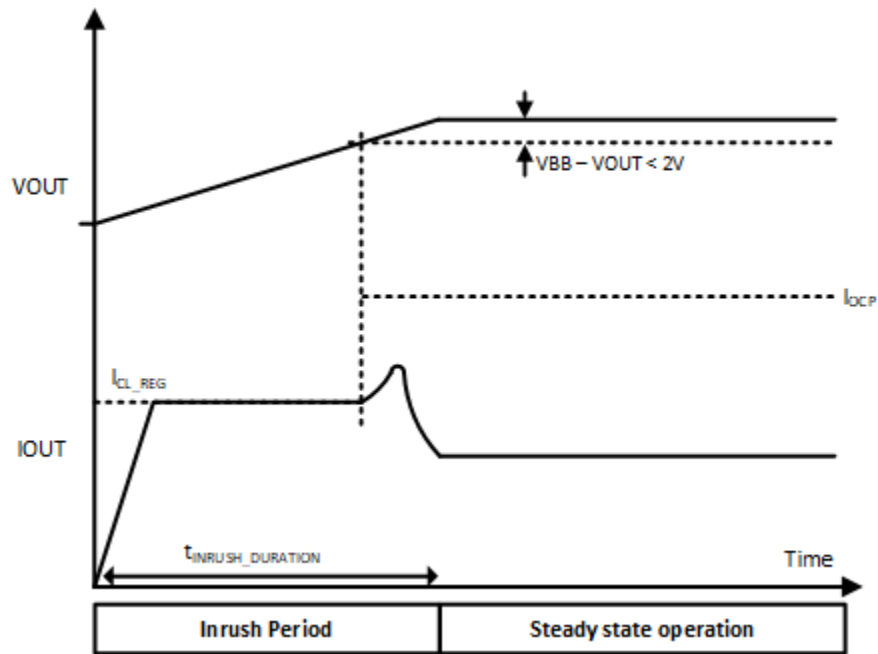


図 4-1. 静電容量式充電方式の突入時および定常状態期間中のハイサイド スイッチの動作を示すタイミング図

4.2 シリアル通信と対応する機能

ハイサイド スイッチを制御するには、シンプルな GPIO ピンを使用する方法と、シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) のようなシリアル通信プロトコルを使用する方法の 2 つがあります。ハイサイド スイッチの SPI 機能により、カスタマイズと制御が強化され、ユーザーが以下のような機能を制御できます。

- スイッチのイネーブル / ディスエーブル
- 診断のイネーブル / ディスエーブル
- 電圧、電流、温度の測定の選択と有効化
- 故障の管理
- 電流制限および突入電流時間の構成
- I²T ヒューズ曲線の構成
- 低消費電力モードおよび静電容量充電モードの構成

ハイサイド スイッチでは、アドレス指定可能な SPI モードまたはデイジーチェーン SPI モードを使用できます。デイジーチェーン SPI では、各デバイスがシリアルに接続され、データはあるデバイスから次のデバイスへと順次転送されます。この方法では、転送ごとに遅延が発生するため速度が低下しますが、同じ SPI バスでより多くのユニットを制御できます。アドレス指定可能な SPI により、デバイスをシリアルまたは並列に接続できます。各デバイスには固有のアドレスがあり、直接通信することができます。そのため、デイジーチェーンのカスケード遅延を回避することができます。

SPI が使用されているハイサイド スイッチでは、多くの場合、A/D コンバータ (ADC) も統合されています。内蔵 ADC を使用すると、ハイサイド スイッチから SPI 経由で電流センス情報をマイコンに返すことができるので、システムの電流検出を簡素化できます。図 4-2 に、PLC デジタル出力モジュールでのこの例を示します。この場合は、電流センス回路である ADC と SPI が TPS274C65 に統合されているので、絶縁バリアを経由して電流センス データを転送することができます。また、ハイサイド スイッチ内部で配線が行われるため、ADC チャンネルの配線を減らすことができます。

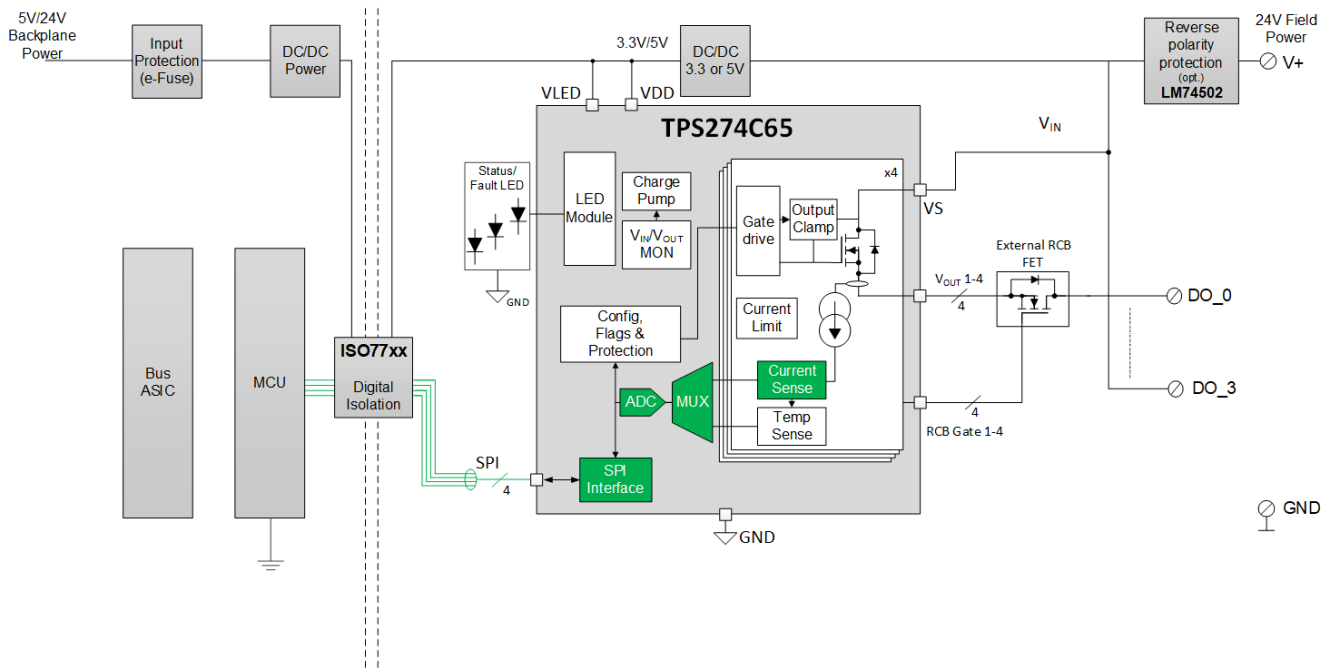


図 4-2. PLC デジタル出力モジュールにおける TPS274C65 の概略ブロック図

SPI と内蔵 ADC によって、電流検出に加えて、温度、電源電圧、出力電圧など他の信号の測定と報告も簡単になります。このような診断機能と報告機能は、デジタル出力負荷をオンサイトおよびリモートで監視するのに役立ちます。ハイサイドスイッチは SPI 経由で電流センスデータと故障情報を報告して、システムおよび技術者による問題の迅速な特定と潜在的な根本原因の排除を支援します。故障が発生する前にシステムがどのように動作していたかを示す診断データを活用することによって、今後同様の故障を防止するための予防対策手順を確立できます。

4.3 産業用システム向け機能: 強化された EFT、逆電流ブロック、LED 駆動

PLC と産業用制御システムに固有の要素は、多くの場合、負荷が不明であることです。これらのデジタル出力ポートは、現場で接続される可能性のある幅広い負荷 (およびそれに続くさまざまな故障イベント) をサポートできるように、十分に堅牢である必要があります。そのため、ハイサイドスイッチは、IEC (国際電気標準会議) の産業用標準に従って UL 認定またはテストに対応する場合があります。セクション 1.2.4 では、いくつかの一般的な産業用標準について説明します。たとえば、TPS272C45 は UL 2367 (半導体過電流保護デバイスの標準) で認定されています。

TPS281C30E は、反復的な電気的高速過渡 (EFT) (IEC 61000-4-4 に従う) に対する堅牢性を強化し、望ましくないカップリングに対するシステムの堅牢性を向上させます。このデバイスは、VS または VOUT で最大 2.5kV の EFT パルスを印加し、適切な出力およびカップリングコンデンサを使用してオフに維持されます (詳細についてはデバイスのデータシートを参照)。

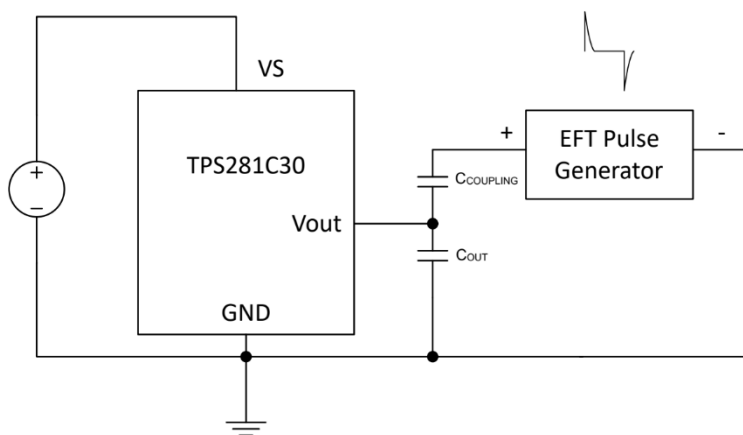


図 4-3. 電気的高速過渡パルスに対する TPS281C30 のテスト方法を示す概略図

強化された EFT を備えたデバイスには、他のハイサイド スイッチよりも強力なゲート プルダウンが実装されています。オフ状態では、EFT パルスが発生した場合でもデバイスをオフに維持できます。最大の EFT 電圧レベル V_{EFT} は、テスト回路で使用する部品によって異なります。出力コンデンサが大きいほど、またはカップリング コンデンサが小さいほど、EFT 電圧の許容誤差は大きくなります。

産業用システムでは、入力電源が利用できない場合に、出力の誤配線により逆電流が発生する可能性があります。大きな容量性負荷は、もう 1 つの一般的な原因である可能性があります。たとえば、負荷容量が極めて大きく、電源電圧ノードに過渡ドループがある場合、出力電圧が電源電圧を上回る可能性があります。他の負荷からの突入電流により、電源電圧の低下が発生する場合があります。TPS274C65 は、電源と出力電圧を監視して、逆電流や入力電源の障害状態時に完全な逆電流ブロックを実現します。TPS274C65 は、外部ブロッキング MOSFET を駆動するためのゲートドライバを内蔵し、逆電流ブロック機能を実装しています。

セクション 4.2 で説明したように、TPS274C65 には SPI 通信機能と内部 ADC も搭載されています。電流センス回路と ADC を TPS274C65 に内蔵すると、デジタル出力モジュール内にある絶縁バリアを超えて電流センス データを送信することができます。また、配線がハイサイド スイッチで完結するため、ADC チャンネルの配線を減らすことができます。

TPS274C65 は、PLC モジュール向けの 1 つの追加機能として、LED ドライバ (8 個の LED を駆動) も搭載しています。これにより、TPS274C65 は 4 つの各チャンネルに対して 1 つのオン/オフ ステータス LED と 1 つの故障 LED の共通構成を駆動できます。

4.4 その他の特殊機能

4.4.1 ウォッチドッグ タイマを内蔵

安全重視のシステムでは、プロセッサとマイコンを常に監視し、機能を検証する必要があります。これを実現する方法の1つが、外部ウォッチドッグ タイマの使用です (外部コンポーネントは、制御コンポーネントから定期的な信号を受信する必要があります)。制御コンポーネントがウォッチドッグに信号を送信するまでに一定の時間が経過すると、ウォッチドッグは障害を通知します。

TI は、GPIO 制御デバイスと SPI 制御デバイスの両方で、ウォッチドッグ タイマを内蔵したハイサイド スイッチを複数提供しています。SPI 制御デバイスでは、このウォッチドッグ タイマはプログラマブルです。

4.4.2 巡回冗長性検査 (CRC)

同様に、TI の SPI 制御ハイサイド スイッチにはオプションの巡回冗長検査 (CRC) 機能があります。この検査では、SPI 転送に基づいてチェックサムが生成されます。書き込み処理中に、SPI コントローラはこのチェックサムを計算し、SPI フレームにチェックサムを追加します。追加されたチェックサムがハイサイド スイッチで計算したチェックサムと異なる場合、ハイサイド スイッチは故障しています。読み出し処理中、ハイサイド スイッチは SPI フレームにチェックサムを追加し、SPI コントローラがチェックサムを計算された値と比較します。

4.4.3 定常状態のプログラマブル PWM スイッチング

一般に、SPI 制御のハイサイド スイッチおよびコントローラは、高度な機能であるプログラマブル PWM スイッチング モードを備えています。このモードでは、定常状態時に特定のデューティ サイクルおよび周波数で、外部または内部で FET をオンにするようにデバイスをプログラムできます。このモードでは、プログラムされた電流制限、過熱保護などの保護機能は引き続きすべてアクティブです。スイッチの場合、プログラムできる最も高速な周波数は 1770Hz です。コントローラのスイッチング周波数の上限値は、負荷を駆動するために選択された FET のサイズと数によって異なります。

4.5 スマート eFuse ハイサイド スイッチ保護機能

車載業界では、アーキテクチャの移行が進んでいます。部材と電力のさらなる最適化を求める声を原動力として、従来のドメインアーキテクチャからゾーンベースアーキテクチャに移行が進んでいます。ドメインアーキテクチャとは、現在の自動車の電気システムにおいて主流となっている構成方法です。ドメインアーキテクチャは、電気システムと負荷を機能ごとに分類した構成になっています。そのため、ボディ負荷および照明を担当する「ボディおよび照明」ドメインと、クラスター、センターディスプレイ、スピーカーを担当する「インフォテインメント」ドメインが存在します。それとは対照的に、ゾーンアーキテクチャは、場所ごとに分類した構成になっています。ゾーンは、車両の場所（フロント、リア、左、右など）または負荷が集中する（シートやルーフゾーンなど）によって区分されます。ゾーンアーキテクチャは、ケーブルの削減による材料の最適化と、高度なインテリジェント電子機器による電力の最適化を実現します。

4.5.1 プログラマブルな時間電流特性 (I^2T) を使用したエネルギー管理

電力と材料の両方を最適化する方法の1つとして、プログラマブルな I^2T 曲線（電流の2乗に時間を乗じた値）の利用が挙げられます。この値は、部品を流れる電流から算出したエネルギー量を表します。溶断ヒューズでは、ヒューズが溶断する熱スレッシュホールドに関連するエネルギー値です。IC内にデジタルで再現および実装することで、物理的なアクセス性に依存せず、どの車載用電子制御ユニット（ECU）でもヒューズ保護を実現できます。

このように、 I^2T 半導体の設計の利点は多面的です。スマート eFuse ハイサイドスイッチには非常に高い構成能力があり、溶断式ヒューズ、ワイヤトレランス曲線、カスタム負荷保護方式に合わせて保護プロファイルのカスタマイズした設計が可能です。この保護機能はソフトウェアで完全に設定できるため、ハードウェア再利用の可能性が広がります。

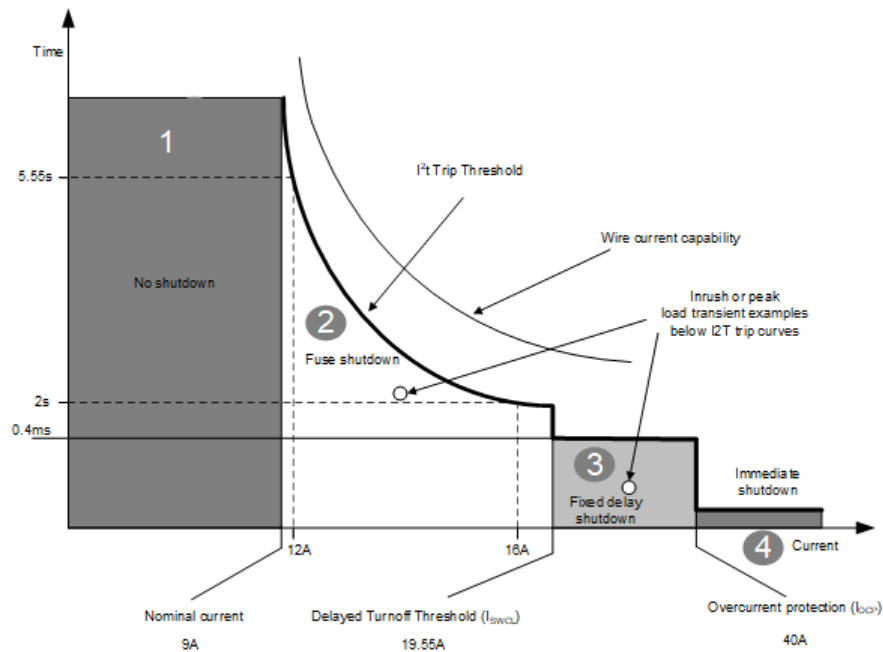


図 4-4. I^2T 曲線の電流と時間プロット(通常動作、ヒューズ シャットダウン、固定遅延シャットダウン、即時シャットダウンの 4 領域を強調)

4.5.2 低消費電力モードによる電力の最適化

自動車の世代交代で電力需要が増加するにつれて、自動車の電力システム全体でエネルギー効率向上のニーズも高まっています。スマート eFuse ハイサイド スイッチの機能を使用すると、非常に小さい低消費電力モードで保護機能を維持することができ、この問題が解消します。低消費電力モードは、車両のキーオフ状態で少量の電流しか必要としない負荷を対象としています。スマート eFuse ハイサイド スイッチは、電力自体を最小限に抑えながら負荷を独立して監視し、MCU をスリープ状態にできます。電流が上昇して低消費電力モードが終了した場合、スマート eFuse ハイサイド スイッチは、ウェーク信号を MCU に通知します。TI のスマート eFuse ハイサイド スイッチは、プログラマブルな低消費電力モード終了電流スレッシュホールドを備えています。低消費電力モードを使用することで、自動車内のパワー ディストリビューションをさらに最適化し、より条件の厳しいシステム要件に対応可能な優れた効率性と汎用性を実現できます。この機能は 2 つの方法で実装されています。1 つは、デバイスのメイン パス FET (青色) を経由する方法 (図 4-5 を参照) と、2 次側の小さい内部 FET (緑色) を経由する方法です。

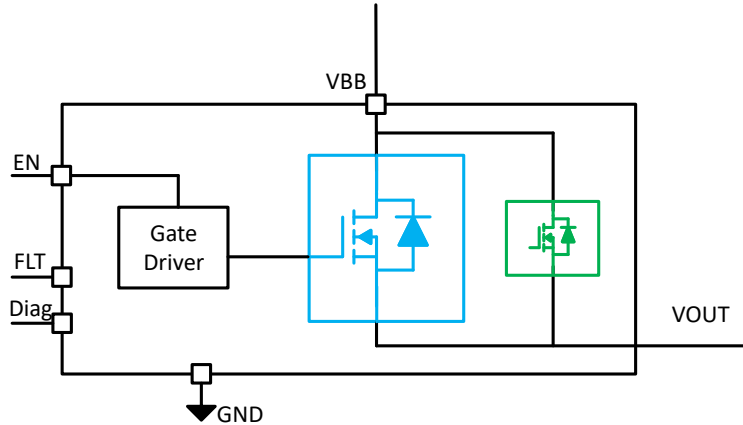


図 4-5. 統合型 FET デバイス用の低消費電力モードの実装 (メインまたは 2 次側統合 FET のいずれかを使用)

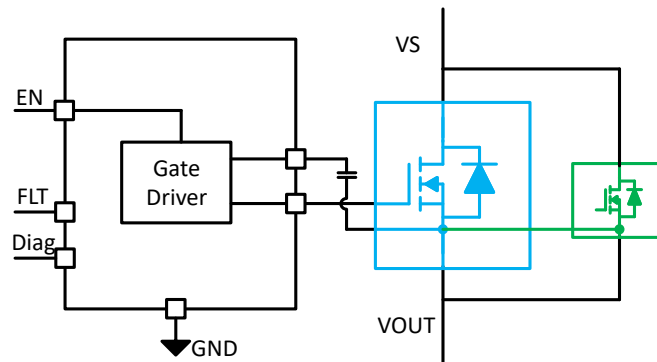


図 4-6. 外部 FET デバイス用の低消費電力モードの実装 (小型のパワー FET に 2 次側ゲートドライブを使用)

外付け FET スマート eFuse ハイサイド スイッチには、少し異なる方法の低消費電力モードが実装されています。一部のバリエーションには、低消費電力モード電流が渡される 2 次側 FET が内蔵されています。ただし、他の大半のバリエーションには、2 次側外部 FET を制御するための 2 次側ゲートドライブがあります。2 次側 FET は小型のサイズで、より小さい電流を流すためのものです。このデバイスは、低消費電力モードから定常状態に自動的に切り替えることができますが、低消費電力モードの終了と開始を手動で制御することは可能です。

車載用パワー ディストリビューションでは、低消費電力モードの需要が増加しており、標準的な負荷においても、その要求が必須要件となりつつある場面が数多く見られます。このため、TI は基本機能として低消費電力モードを持つハイサイド スイッチをリリースしました。これらのデバイス (TPS4HC120-Q1、TPS2HC120-Q1 など) では、低消費電力モードは基本機能として完全に自動化されており、追加の制御回路やサポート回路はほとんど必要としませんが、さらなる電力最適化を行うことも可能です。

4.5.3 パワー サイクル後のメモリ保持 (NVM または EEPROM)

非常に多くのデジタル構成があり、データ計算が発生する中、スマート eFuse ハイサイド スイッチ内で何らかのメモリ バックアップを持つことが重要です。EEPROM を搭載していないデバイスでは、故障による電源サイクルと標準電源サイクル (毎回のエンジンの停止または始動) により、設定がリセットされます。スマート eFuse ハイサイド スイッチには、この事態を防止するための EEPROM バックアップがあります。構成可能なすべてのスレッショルドと機能設定は、I²T 設定、容量性充電、電流制限、開放負荷設定など、パワーサイクルから保護されます。

5 まとめ

TI は、車載パワー ディストリビューション ユニット、PLC デジタル出力モジュール、バッテリー管理システムなどのために、広範なハイサイド パワー スイッチング ソリューションを提供しています。最適なデバイスを探す場合は、最初にシステムの電圧と電流の要件を考慮します。次に、(電流の制限または回路の切断のために) ハイサイド パワー スイッチの役割を検討します。さらに必要な保護機能と診断機能を決定します。

低電流から中電流の負荷の駆動とパワー ディストリビューションについては、内蔵のハイサイド スイッチを参照してください。大電流負荷の駆動と接続解除スイッチングの場合は、外部 FET ハイサイド スイッチ コントローラの柔軟性を活用することもできます。従来の溶断ヒューズをエミュレートしたり、ワイヤ ハーネスを最適化したりする場合は、スマート eFuse ハイサイド スイッチの内蔵 I²T ベースの過電流保護を利用します。最適なデバイスを絞り込むには、TI.com の製品選択表を使用して、システム要件を満たすために必要なパラメータと機能をフィルタリングします。

6 参考資料

1. テキサス インストルメンツ、『[負荷スイッチと eFuse を使用したパワー マルチプレクシング](#)』、アプリケーション ノート
2. テキサス インストルメンツ、『[eFuse の基礎](#)』、アプリケーション ノート
3. テキサス インストルメンツ、『[モーター設計要件に適合する適切な統合レベルの選択](#)』、技術記事
4. テキサス インストルメンツ、『[TI の機能安全ホームページ](#)』、Web ページ
5. テキサス インストルメンツ、『[理想ダイオードの基礎](#)』、アプリケーション ノート
6. テキサス インストルメンツ、『[スマート パワー スイッチの可変電流制限](#)』、アプリケーション ノート

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、

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