

*Application Note***48V 車載システム用モータードライバのスルーレートに関する考慮事項**

Akshay Rajeev Menon, Joseph Ferri

概要

近年の自動車産業は、市場が電気自動車に移行する動向や、政府機関による環境規制などの要素に主導されて、大きく変化してきました。電気自動車(EV)プロジェクトに取り組む OEM (Original Equipment Manufacturer) が増加したため、48V アーキテクチャの採用が大幅に加速しつつあります。完全な電気自動車以外に、48V はマイルドハイブリッド自動車でも使用されています。

48V レールを搭載したコネクテッドシステムは、より小さなモーター電流で動作できるため、ワイヤ ゲージの厚さ、ハーネスの重量、電力損失、PCB サイズを削減できます。これは、最終的に車両のワイヤ ハーネスの高い総コストを削減するのに役立ちます。EV でより一般的に使用されているスケートボード形式のシャーシも、電力密度の向上と配線の簡素化により、48V レールの恩恵を受けられます。

多くの車載システムでは、効率の向上、寿命の延長、EMI の低減、静かな動作、正確な制御のため、ブラシレス DC (BLDC) モーターが使用されています。これらのモーターは、車両全体でブレーキ、ステアリング、シフト、アクティブ サスペンション、ポンプ、送風機など、さまざまな目的に活用されています。このような従来型の 12V アーキテクチャからの移行によって、ブラシレス DC (BLDC) モーター システムの性能が変化し、設計の再検討がいくつか必要になります。

48V 電圧レベルでは、新しいシステム レベルの検討事項がいくつかありますが、このアプリケーション ノートでは MOSFET の電力損失と、12V から 48V システムへの移行時に電力損失がどのように変化するかを中心に解説します。

目次

1はじめに	2
2モータードライバシステムの電力損失と熱	2
2.1 導通損失.....	2
2.2 スイッチング損失.....	3
3現実的なモータードライバの制限	5
3.1 電磁干渉(EMI) - システムノイズの考慮事項.....	5
3.2 モータードライバの電圧許容誤差.....	5
4まとめ	6
5参考資料	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

BLDC モーターは、さまざまな車載システムに向けた広範な機能を備えています。これまで、BLDC システムの最も一般的な電圧範囲は 12V でした。これらのシステムに 48V レールが加わることで、結果として MOSFET の電力損失にどのような影響が及ぶかを理解することが重要です。動作熱を軽減し、バッテリの充電量を維持するために、電力損失源を管理することが重要です。

このアプリケーションノートでは、導通損失、スイッチング損失、EMI などを含め、48V に移行する際の新しいシステムレベルの検討事項について解説します。以後の例と計算のすべてについて、12V と 48V の両方で 960W の電力レベルが使用されます。すなわち、12V で 80A、48V で 20A です。

2 モーター ドライバ システムの電力損失と熱

BLDC モーターは、MOSFET ハーフ ブリッジの 3 相の電気的整流を通じて、電気的な電位エネルギーを運動機械エネルギーに変換します。バッテリからモーターに電力を供給する MOSFET は、モーター ドライバ システムの電力損失と発熱に最も大きく影響します。

電力損失は、次の性能に影響するため、システム設計時に考慮すべき重要な要素です：

ユーザー エクスペリエンス - 高熱は使いやすさに影響を与え、ユーザーの不快感につながる可能性があります

デバイスの信頼性 - 高温での動作は、磨耗や破損の加速につながり、寿命全体にわたる信頼性に影響を及ぼす可能性があります

電力効率 - バッテリ動作時間が短くなり、自動車の航続距離が減少し、熱設計に関する課題が増えます

このアプリケーションノートでは、MOSFET による電力損失のうち、導通損失とスイッチング損失という 2 つの分野に注目します。

2.1 導通損失

ドレインからソースに電流が流れるとき、MOSFET で導通損失が発生します。導通時の MOSFET のチャネル抵抗は、一般にオン抵抗 ($R_{ds(on)}$) と呼ばれます。これらの損失は電流の 2 乗に比例するため、モーター電流は導通損失を決定する際の主な要因になります。FOC 整流中の導通損失は、次の式を使用して計算されます：

$$P_{conduction} = 3 \times I_{RMS}^2 \times R_{ds(on)} \quad (1)$$

事例 1

2 つのシステムの合計電力が 960W と想定します。

システム A = 12V バッテリ

システム B = 48V バッテリ

$$P = I \times V \quad (2)$$

式 2 に基づき、12V と 48V の両方のシステムについて求められる出力電力が同じと想定する場合、オームの法則を使用すると、48V システムは 1/4 の電流で動作すると推測できます。そのため、MOSFET を流れる電流が小さくなるので、式 1 から 48V システムの導通損失は 1/16 になります。例 1 で示される損失を、図 2-1 に示します。

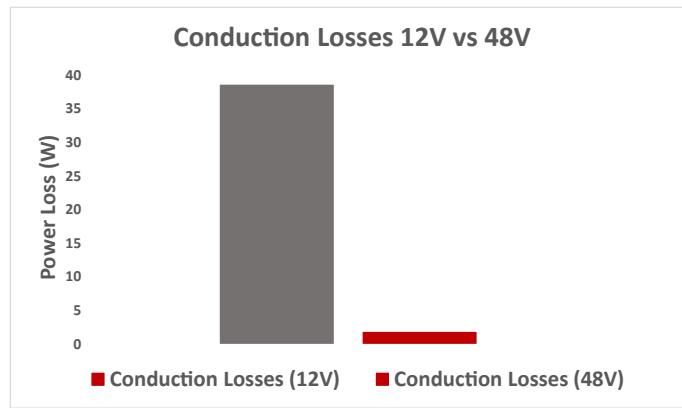


図 2-1. 12V と 48V での導通損失の比較

2.2 スイッチング損失

スイッチング損失は電力損失の別の形で、MOSFET のオン / オフ時に失われるエネルギーに関連します。これらの損失は、ドレインとソースの間の電圧を完全にスルーさせるのに必要な時間と、MOSFET のスイッチング周波数に正比例します。

FOC 整流中のスイッチング損失の式は、次の式を使用して計算されます：

$$P_{switching} = 3 \times I_{RMS} \times V_{peak} \times T_{rise/fall} \times F_{PWM} \quad (3)$$

12V 車載システムでは、合計消費電力の大部分は導通損失なので、スイッチング損失には注目されません。しかし、自動車メーカーが 48V の EV / ハイブリッド システムへの移行を進めている現状では、スイッチング損失が合計損失の大きな部分を占めるようになります。この市場の移行に伴う動向から、多くのエンジニアが合計消費電力を削減するため、スイッチング動作を最適化するようになりました。

注目すべき主要なパラメータは、MOSFET をバッテリ電圧との間でスルーするために必要な時間です。スルーフィルムを減らすことで ($\frac{Voltage}{T_{rise/fall}}$) MOSFET をより効率的にスイッチングできます。モータードライバのゲート電流を増やすことでスルーフィルムを短縮でき、スルーレートを高速化できます。スルーレートがスイッチング損失に及ぼす影響を、図 2-2 に示します。

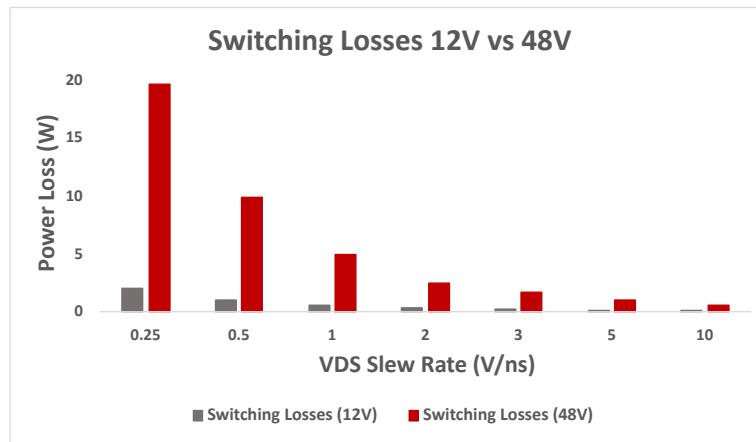


図 2-2. 12V と 48V でのスイッチング損失の比較

2.2.1 スイッチング周波数の影響

システムのスイッチング損失の量に大きな影響を及ぼす可能性があるもう 1 つの要素は、入力 PWM 信号の周波数です。MOSFET は、該当する入力パルスの開始時と終了時(オフとオン)の両方でスイッチング領域に入る必要があります。PWM 周波数が高いと、これらのパルスがより頻繁に発生するため、各 MOSFET がスイッチング領域で費やす時間が長くなります。すなわち、スイッチング損失の量と、入力 PWM 信号の周波数との間には、比例関係があります(図 2-3 を参照)。48V システムの PWM 周波数の一般的な値は約 20kHz です。この値が目標となる理由は、この周波数が人間の可聴範囲外になるほど高いが、スイッチング損失やノイズを低減するため低く保たれることです。

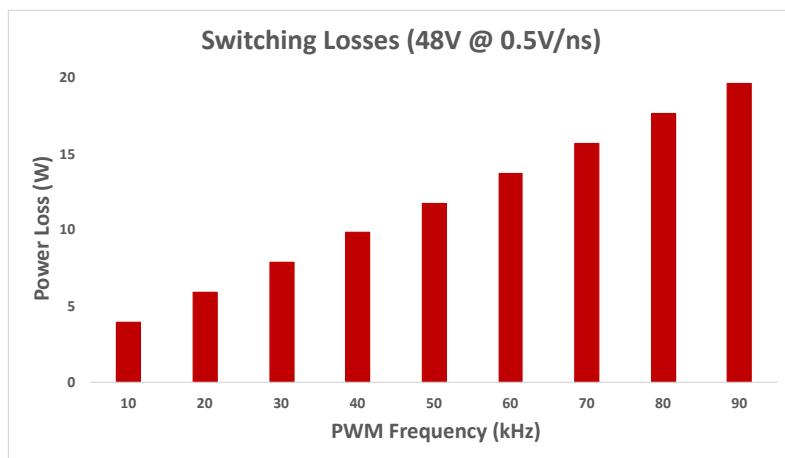


図 2-3. スイッチング損失 (48V、0.5V/ns)

3 現実的なモーター ドライバの制限

理論的には、モーター ドライバ システムを最適化し、スイッチング電力損失を低減するには、最高速のスルーレートで動作することが鍵となります。しかし実際には、以下のような現実世界の制限があります：

3.1 電磁干渉 (EMI) - システム ノイズの考慮事項

MOSFET のスイッチングが高速な場合、電圧過渡も高速になります。これらには高周波の成分が含まれ、EMI として伝搬されます。すべての回路には寄生インダクタンスと寄生容量があり、これらの L-C 部品の高速励起で共振回路が形成され、特定の周波数がさらに増幅される可能性があります。これらの周波数は、システムの他の部分に干渉を引き起こす可能性があります。車載システムには、CISPR 25 準拠など厳格な EMI 周波数上限の要件があるため、最終システムに実装できるスルーレートが制限されます。

3.2 モーター ドライバの電圧許容誤差

電圧スルーレートを増やすと、MOSFET のゲート信号とソース信号で電圧リング (オーバーシュートやアンダーシュート) が発生します。オーバーシュートの大きさはスルーレートに直接換算されます (ゲート電流によって制御される)。ゲート電流がスルーレートとリングに及ぼす影響については、図 3-1 を参照してください。システム設計エンジニアは、電圧スパイクがモーター ドライバの絶対最大定格、特にゲートピンとソースピンの定格に違反しないことを確認する責任があります。モーター ドライバの定格を超える範囲で動作すると、デバイスの性能と信頼性に影響を及ぼし、予期しない動作や急激な摩耗を引き起こします。

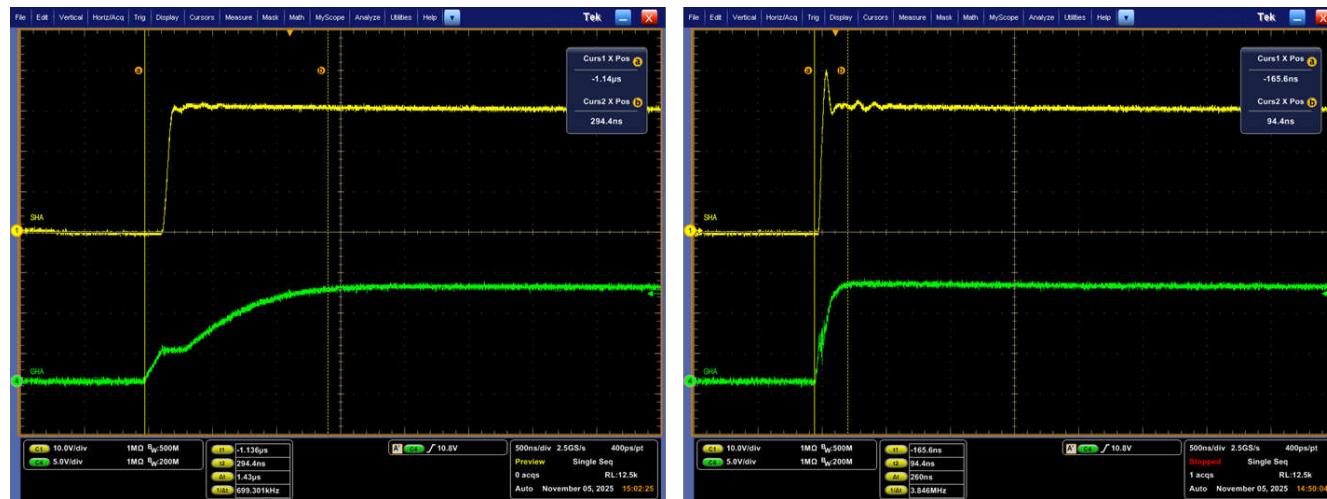


図 3-1. ゲート電流がスルーレートとリングに及ぼす影響:a) ゲート電流 - 64mA (左) b) ゲート電流 - 1024mA (右)

見過ごされることが多い、もう 1 つの重要な仕様は、モーター ドライバのソース ノードで許容される絶対最大スルーレートです。多くの古いデバイスや、主要な競合他社のデバイスは、絶対最大スルーレート仕様が $1V/\mu s$ であるため、スイッチング速度が制限されます。また、MOSFET 電圧のドレイン - ソース間のスルーレートは線形ではなく、コンデンサの充電に似ているため、S 曲線の形になることにも注意してください。これは、スルーレートが中央の部分でデバイスの定格よりも高くなる可能性があることを意味します。そのため、スイッチング効率を高めるため高速なスルーレートを求めるお客様に対して、厳しい制約が生まれます。テキサス・インスツルメンツの新しい 48V ドライバ DRV8363-Q1 は、この考慮事項を念頭に置いて設計されたもので、ソース ノードで最大 $20V/ns$ のスルーレート許容誤差を実現しています。

DRV8363-Q1 の新しい定格により、より高速なスルーレートに対するシステムの堅牢性が向上し、ドライバがシステム性能を制限する要素ではなくなります。

RC スナップの追加や、適切な PCB 設計手法に従うことで、リングの影響を低減できます。最終的に、システム設計エンジニアは、システムのゲート電流を選択する前に、EMI の制限とドライバの電圧定格を考慮する必要があります。いずれの側にも、システムの最適なスルーレートに影響する寄生容量に対する PCB 全体の堅牢性など、さまざまな利点とトレードオフがあります。

4 まとめ

車載システムの BLDC システムが 48V に移行すると、MOSFET のスイッチング損失は無視できないほど大きくなることに注意する必要があります。導通損失に代わってスイッチング損失が大きな割合を占めるため、モーター ドライブ システムの最適化方法が変化します。

スルーレートを高くするとスイッチング損失の低減に役立ちますが、EMI やリンクギングなどスルーレートの高速化の悪影響を考慮することは重要です。スルーレートが過度に高い場合、システムは電圧オーバーシュート、容量性結合、望ましくないターンオンの影響を受けやすくなります。システムを最適化するには、PCB レイアウトと、ソースおよびシンク電流の設定を適切に選択することが重要です。これらの要因のバランスを取ることで、設計者は [DRV8363-Q1](#) を使用して、デバイスのスルーレート能力に制限されることなく、堅牢な 48V システムを作成できます。

5 参考資料

- テキサス・インスツルメンツ、『[DRV8363-Q1 高精度電流センシング機能および高度監視機能搭載、48V バッテリ 3 相スマート ゲートドライバ](#)』、データシート。
- テキサス・インスツルメンツ、[DRV8363-Q1EVM](#)、評価基板。

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默示保証、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、明示的または默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、(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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月