Information to Power Your Designs

バッテリー駆動アプリケーション向けのシステム ソリューション：インフィニオンによる4回にわたるビデオ解説シリーズPart4
コンパクトで効率的なバッテリー駆動のための革新的なソリューション

著者: インフィニオン　テクノロジーズ社、モーションコントロール、バッテリー駆動システム担当
アプリケーションマーケティング ディレクター

日付: 2022年1月31日

タグ: @psd #technology #infineon

新しい技術で GaN 技術のポテンシャルを引き出す

はじめに



画像をクリックすると拡大します

本連載の前号で述べたように，パワーエレクトロニクスのモーターへの近接は、多くのバッテリー駆動アプリケーションにおいて重要な設計目標となっています。電動工具やロボットなどのアプリケーションでは、機能性や電力要件の向上、サイズや重量の制約に直面し、システム設計者は、こうした重要課題に対応するために、技術の進歩を求め、それに依存するようになりました。

モーター駆動/制御に特化した場合、スイッチング周波数の向上とフィールド指向制御 (FOC) の実装により、システム設計者は熱放散とバルクキャパシタンスに関連する制約を克服することができます。その結果、システムレベルの効率が向上し、モーターと関連するインバーター設計の両方で熱上昇を抑えることができます。

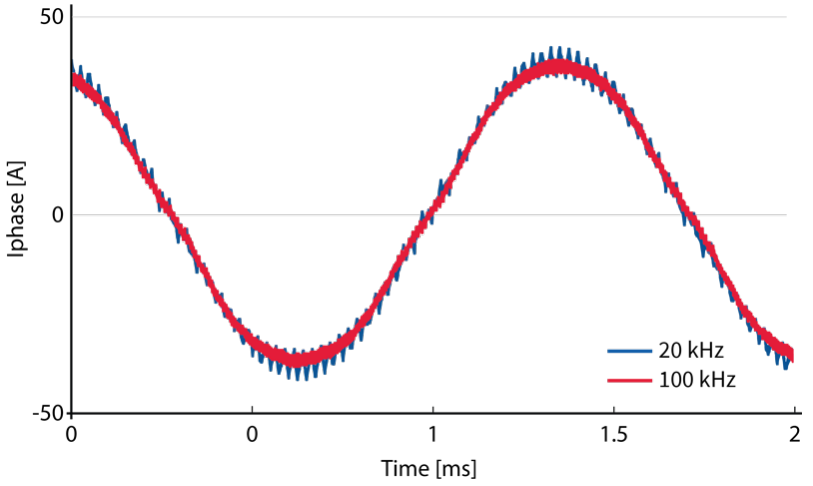
この分野では、GaN などのワイドバンドギャップ (WBG) 半導体の進歩が、システムレベルの重要な課題を克服するために飛躍的な前進を実現します。

GaN HEMTスイッチと最適化されたゲートドライバによる効率向上

シリコン (Si) MOSFETを用いた従来のモーター駆動設計では、最適化された設計であっても、高いスイッチング損失により、スイッチング周波数と最大出力電力の間に厳しいトレードオフが存在します。しかし、GaNなどのワイドバンドギャップ(WBG) 半導体に移行することで、この問題は大きく改善されます。立ち上がり/立ち下がり時間の大幅な短縮とそれに伴うスイッチング損失の低減により、最新世代の 100V [1] エンハンスメントモード (e-mode) GaN HEMT と GaN 最適化ゲート ドライバーは、モーター駆動アプリケーションの飛躍的に進歩させます。

"Power Systems Design Edition 28/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

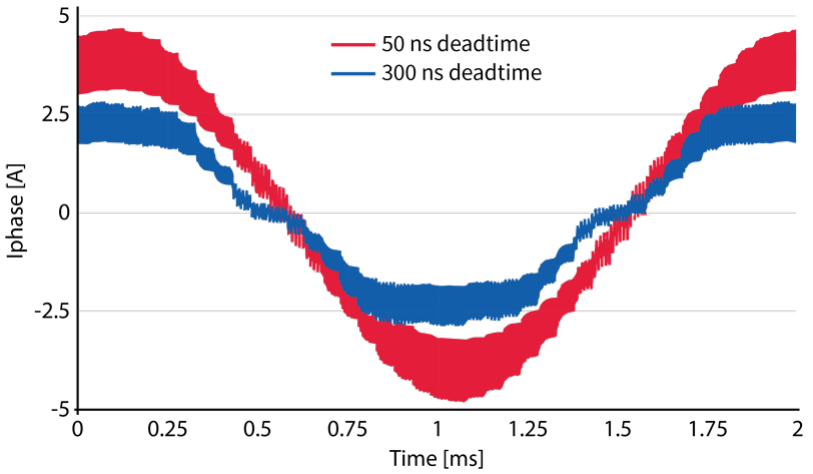
GaN デバイスの高速スイッチング速度により、パワーエレクトロニクス設計者は、インバーター効率だけでなく、エンドツーエンドの効率と設計の総サイズを考慮して、より高いスイッチング周波数を自由に選択できるようになりました。こうした改善の影響は、FOC アルゴリズムを実装した場合に最も効果的に表れます [**1**]。高い周波数は、トルクリップルや関連する振動を最小限に抑えながら、純粋な正弦波をより正確に近似させられるからです。図1は、スイッチング周波数が20kHzと100kHzのときの相電流波形を、比較のために重ねて示したものです。20kHzに比べ100kHzでは電流リップルが減少し、よりきれいな基本電流波形と無効電流が得られるため、モーター巻線の温度低下につながります。



画像をクリックすると拡大します

図 1. 20kHzと100kHzの位相電流波形の比較

この改善の重要なポイントは、GaN技術にはボディダイオードが存在しないことである。これにより、逆回復電流を考慮する必要がなくなり、インバーターのデッドタイムを大幅に短縮することができます。これにより、正弦波電流の発生がスムーズになり、高調波歪みの発生を抑え、効率の良いシステムを実現することができます。図2は、同じ変調指数の100kHzで動作させた場合の相電流です。50nsで動作させると、ゼロクロス時の歪みが少なくなるだけでなく、全体的に位相電流が増加します。

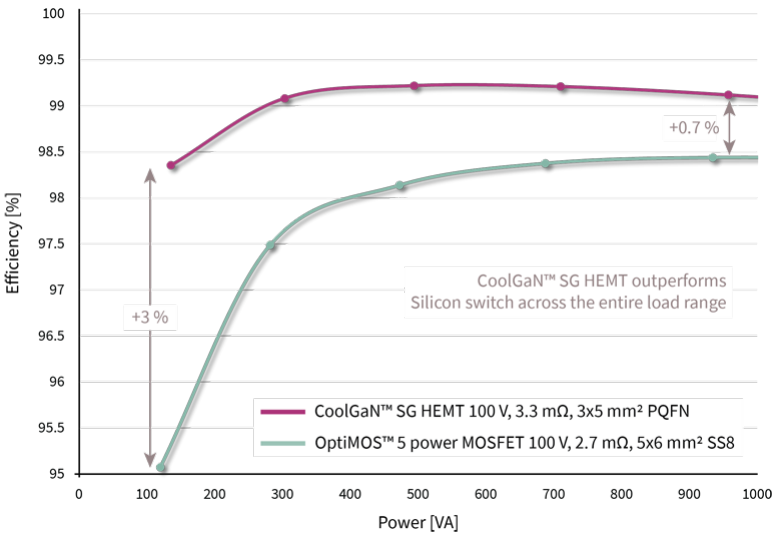


画像をクリックすると拡大します

図 2.正弦波電流の生成におけるデッドタイム短縮の影響

"Power Systems Design Edition 28/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

また、モーターでの電流リップルの低減は、ひいては巻線とコアの損失低減、モーター温度の低下という好影響をもたらします。スイッチング損失はスイッチング周波数に比例するため、Si MOSFETの使用は周波数が高くなるとシステム効率の面で不利になります。また、図 3 に示すように、GaN スイッチを使用した場合、スイッチング周波数が高くなると、インバーター効率はシリコンよりも改善されます。



画像をクリックすると拡大します

図 3. インフィニオンの CoolGaN™ (GaN HEMT) と OptiMOS™ 5 (Si) スイッチの 100 kHz スイッチング周波数での効率比較

図に示すように、RMS 位相電流が相対的に減少するため、軽負荷時にはスイッチング周波数が高くなる利点が際立ちますが、負荷範囲にわたる巻線温度を見ると、その利点は非常に顕著になります。コボットのような熱的制約のあるアプリケーションでは、これは大きな利点となります。

先進GaN技術で実現したさらなる改善点

スイッチング周波数の向上は、システム全体に様々なメリットをもたらします。トルクリップルの改善によるモーターのスムーズな動作 (さらにクリーンな正弦波に伴う高調波成分の減少による)、効率の改善、モーター温度の低下に加えて、GaNを実装した場合、インバーター全体のサイズを大幅に縮小することが可能です。これは、システムに必要なDCリンク容量の低減により実現されます。

このようなシステムで必要な容量は、モーター インバーターからのリップル電流を抑制することが重要なポイントになります。MLCC (積層セラミック コンデンサー) は、大型の電解コンデンサーよりも静電容量が小さく、また、電解コンデンサーと比較して容量が小さいため、この点では優れています。スイッチング周波数と必要なDCリンク容量の関係は、以下の式で表されます。

$$C_{DC-link} \propto \frac{I_0}{4 \cdot f_{sw} \cdot \Delta V_{pp}} \rightarrow f_{sw} \uparrow = C_{DC-link} \downarrow$$

画像をクリックすると拡大します

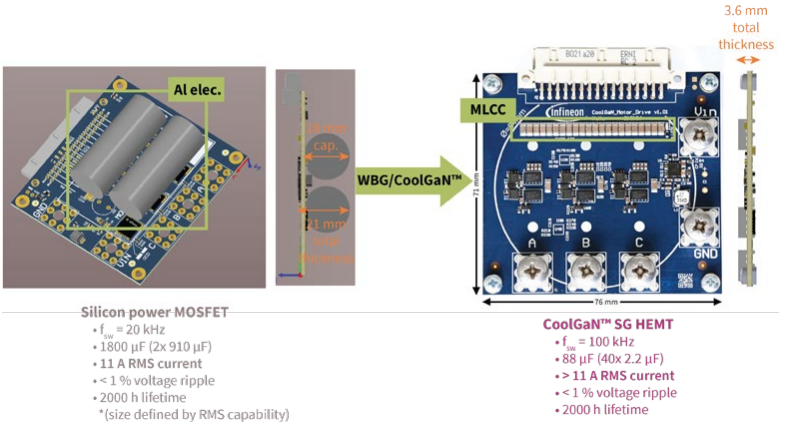
"Power Systems Design Edition 28/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

11A RMS 電流の動作条件において，20kHz と 100kHz でスイッチングするシステムの要件を比較すると，DC リンク容量の要件は次のようになります。

- F_{sw} = 20 kHz, $C_{Al.elec.}$ = 470 µF, 470 µFの電解コンデンサーが1個必要
- F_{sw} = 100 kHz, C_{MLCC} = 88 µF, 2.2 µF の40 MLCC コンデンサーが40個必要

ただし、寿命の要件を満たすには、現在の仕様に対応するため、容量をオーバープロビジョニングする必要があることに注意してください。必要な静電容量が大幅に削減されるため、分散型MLCCネットワークは、インバーター設計において実現可能であり、設計のサイズを大幅に削減することができます。また、寄生インダクタンスを低減し、EMIを改善することも可能です。最終的にアプリケーションに特化した設計を行う場合、このコンデンサバンクは選択されたスイッチング周波数に対してさらに最適化することが可能です。

その結果、以下の図 4に比較結果を示します。



画像をクリックすると拡大します

図 4. GaNとシリコンのパワーステージを用いたモータードライブの実装の対照比較

効率向上がもたらす柔軟性

モーター制御システムのインバーターにGaNベースの設計を行うことは、全体的な効率向上という点では確かに大きなインパクトがありますが、同時に設計の自由度を高めることにもなります。より電力効率の高いシステムを構築することで、設計者はそのヘッドルームをさまざまな方法で利用することができます。バッテリー駆動のシステムでは、効率向上により、必要なバッテリー再充電間の動作時間を延長することができます。しかし、効率の向上は、個々の充電で同じ動作時間を維持しながら、負荷により多くの電力を供給する (すなわち、モーターのトルク能力を高める) ために使用することもできます。あるいは、効率の向上は、より小型のバッテリーの使用につながるため、システムの重量および/またはフォームファクターの低減できます。

展望

今後、新しいワイドバンド ギャップ デバイスは、より高いスイッチング周波数の駆動基盤を確立し、小型軽量化しながら効率と精度を向上させることで、システム性能の向上に貢献します。GaN 技術によるスイッチング周波数の向上は、より小型・軽量・高速な低インダクタンスモーターの使用を 可能にし、この記事で述べた機能強化と相まって、バッテリー駆動のモーター制御アプリケーションにおいて真に ゲームを変えるようなシナリオを実現します。

"Power Systems Design Edition 28/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

インフィニオンは、マイクロコントローラ、ゲート ドライバー、パワースイッチ (GaN、SiC、Si)、センサー技術のラインアップを拡大し、バッテリー駆動、民生、および高出力産業アプリケーション向けに世界クラスのシステムレベルのモーター駆動および制御ソリューションを提供することに尽力しています。

詳細については、インフィニオンの提供するバッテリー駆動モータードライブ ソリューションをこちらから、GaN 技術製品ソリューションをこちらからご覧ください。

インフィニオン テクノロジーズ

参考資料:

[1] M. Wattenberg, E. A. Jones and J. Sanchez, “A Low-Profile GaN-Based Integrated Motor Drive for 48V FOC Applications,” PCIM Europe digital days 2021; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, 2021, pp. 1- 8.

[1]**近日リリース！　2022年Q4予定**

"Power Systems Design Edition 28/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation