

# モノリシックGaNのePower™ Stageを使って 小型低電圧BLDCモーター駆動用インバータを設計する方法



## 動機

ブラシレスDC (BLDC) モーターは人気があり、ロボット、イーモビリティ、ドローンの用途で増えていることが分かります。このような用途には、軽量、小型、低トルク・リップル、精密制御などの特別な要求があります。これらの要求に対処するために、モーターに電力を供給するインバータは、より高い周波数で動作しなければなりません。結果として生じる大きな電力損失を減らすための高度な技術が必要になります。GaN FETとICは、大きな損失を生じることなく、ハード・スイッチング構成において、はるかに高い周波数で動作する能力があります。このアプリケーション・ノートでは、モノリシックGaNハーフブリッジのePower™ Stage ICを使った高速で小型なBLDCモーター駆動用インバータの設計について説明します。最高スイッチング周波数3 MHzで、負荷電流は1相当たり10 A<sub>RMS</sub>が得られます。

## モノリシックGaNのePower™ Stage ICの概要

GaN FETの次の革新は、モノリシック集積化です。パワー段をモノリシックに集積化すると、スイッチング特性に大きな影響を与える共通ソース・インダクタンス (CSI: common source inductance)、および電力ループとゲート・ループのインダクタンスが大幅に減少するだけでなく、IC内の電力消費の分布も均一になります。加えて、部品点数を削減でき、プリント回路基板のレイアウトも簡単になります。

図1は、GaNのePower™ StageであるEPC2152の回路ブロック図です。耐圧70 V、オン抵抗10 mΩの2個のメインFETと、FETの駆動用に最適化されたハーフブリッジ・ゲート・ドライバを集積しています。入力バッファ、パワー・オン・リセット (POR: Power-On-Reset) を備えた論理インタフェース、低電圧ロックアウト (UVLO) 機能、高電圧、高dv/dt対応の制御信号レベルシフト回路、およびハイサイド・ゲート・ドライバへの適切な供給電圧を保证する同期ブートストラップを搭載しています。EPC2152は、CMOSとTTLの両方の論理レベルと互換性があります。図2は、モノリシックGaNのパワー段EPC2152のピン配置の写真です。この面積は、わずか3.9 mm×2.6 mmと小さく、最大15 Aの電流を供給できます。

## EPC2152を使ったBLDCモーター駆動用インバータの設計

実用的な高性能モーター駆動回路には、少なくとも次の機能が必要です：

- ・3相のハーフブリッジ・パワー段
- ・モーターの少なくとも2相の電圧と電流を検出
- ・駆動回路への直流電源の電圧と電流の検出
- ・さまざまな制御回路と補助回路のハウスキューピング電源
- ・ハーフブリッジの高dv/dt出力とモーター接続と間の高調波フィルタ
- ・モーター制御機能を操作するための適切な処理能力を備えたコントローラ
- ・過熱や過電流の監視などの保護機能

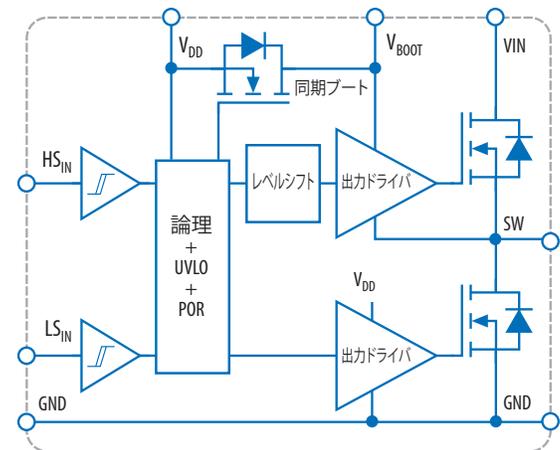


図1. GaNのePower™ StageであるEPC2152の回路ブロック図

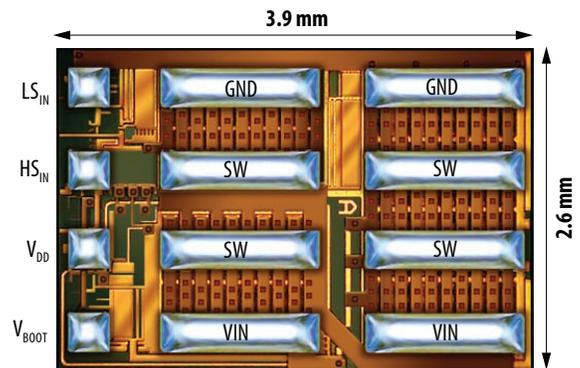


図2. GaNのePower™ StageであるEPC2152のバンパ側写真

60 V、3相のBLDCモーター駆動用インバータは、ePower StageのEPC2152を使って設計されています。図3は、リストに示したすべての必須機能を備えた回路ブロック図です。各相は、サポート用の少数のコンデンサのみを必要とするePower StageのEPC2152を1個使います。GaN FETによって生成されるdv/dtが高いため、ライン・コイルとシャント・コンデンサで構成されるLCフィルタをオプションで搭載できます。高調波フィルタまたはEMI (電磁干渉) フィルタのいずれかとして構成できます。EMIフィルタとして構成する場合、抵抗をコンデンサと直列に配置します。ハウスキューピング電源は、ゲート駆動段と制御段向けに、12 Vと3.3 Vの2つの主要な電圧レベルを生成します。コントローラは、モーター駆動の相の電流と電圧、供給電圧、および温度を検出した上で、PWM (パルス幅変調) 制御信号をパワー段の入力に戻します。

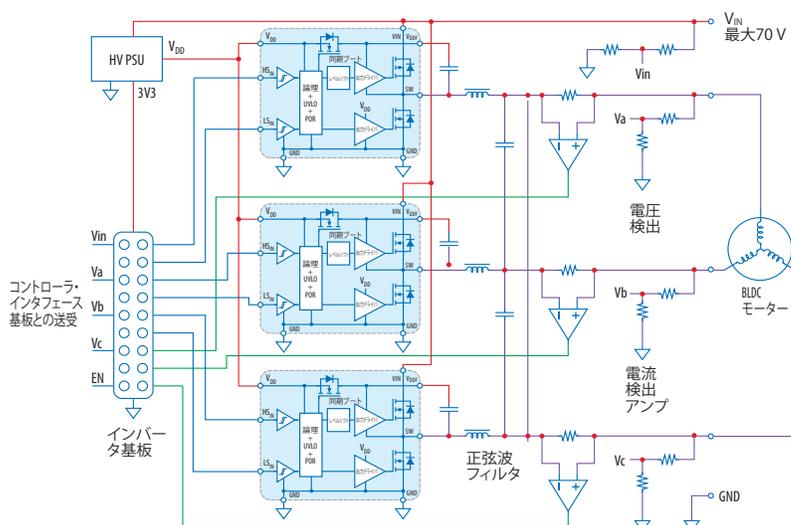


図3. BLDCモーター駆動用インバータの回路ブロック図

図4にBLDCモーター駆動用インバータの回路基板を示します。この設計は、電力処理能力を向上させるためのヒートシンクを実装するために、ネジで取り付けられるポストを備えています。ヒートシンクを取り付ける詳細な手順は、[1]で説明されています。この駆動回路は、15 V~60 Vの直流入力で動作し、400 WのNEMA 34サイズのBLDCモーターに電力を供給するように設計されています。20 kHz~1 MHzのスイッチング周波数で動作し、ヒートシンクが取り付けられている場合、モーターの各相に15 Aのピーク電流を供給できます。この基板の面積は、わずか45 mm×55 mmと小型です。

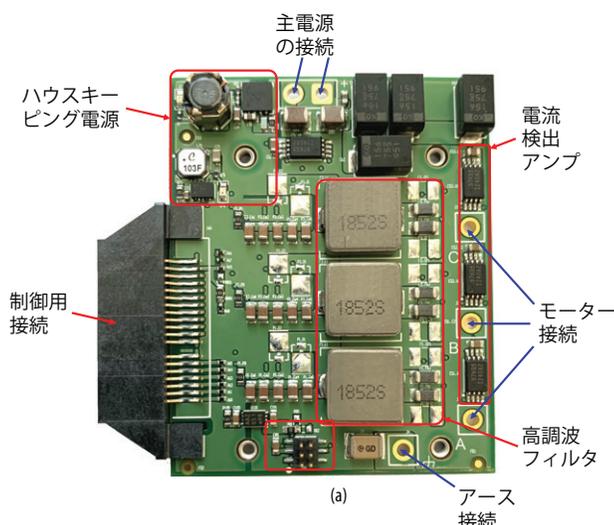
設計の検証

モーター駆動用インバータは、正弦波変調周波数20 Hzの400 WのNEMA 34モーターに電力を供給するために100 kHzでスイッチングすると同時に、48 Vの直流電源電圧で動作させました。ハーフブリッジのデッドタイムは、立ち上がりエッジと降下エッジの両方で10 nsに設定されており、50 nsで始まるMOSFETと比べると非常に短くなっています。

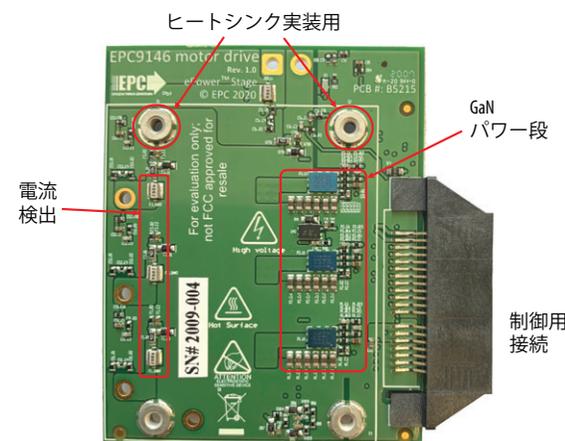
図5は、モーター駆動回路が、モーターに1相あたり10 A<sub>RMS</sub>を供給したときに、その1相に対する変調周波数のタイムスケールで測定したスイッチ・ノード電圧 (V<sub>swN</sub>) と相電流 (I<sub>phase</sub>) を示しています。これは、オプションのL-C出力フィルタなしで捕捉しました。図6は、正相電流と逆相電流の両方でスイッチング周波数のタイムスケールで測定したスイッチ・ノード電圧です。過度のリングングやオーバーシュートがないことがわかります。遷移のタイムスケールで波形をさらに拡大すると、図7に示すように、ハード・スイッチングの遷移と自己転流の遷移が非常に速く、定常状態に達する前のリングングが最小になります。

動力計がないため、無負荷状態でモーターを駆動するときに、インバータの電力損失を測定しました。1相のRMSモーター電流の関数として測定した電力損失が図8です。400 Wのモーター電力に外挿すると、184 mWのコントローラを含むインバータの予想効率は98.4%を超えます。

このインバータは、ヒートシンクなし、強制空冷400 LFMで動作させました。図9は、9 A<sub>RMS</sub>で動作しているときの熱定常状態でのePower Stageデバイスの温度です。



(a)



(b)

図4. 実験用3相BLDCモーター駆動回路の写真。(a) 表面。(b) 裏面。

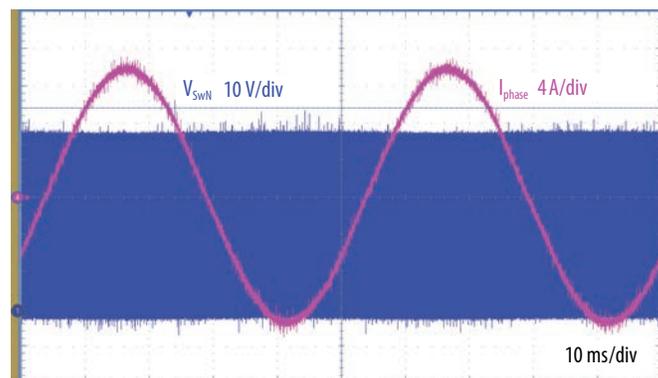


図5. 48 Vの直流電源で動作し、1相あたり10 A<sub>RMS</sub>をモーターに供給しているとき、変調周波数のタイムスケールで測定したモーター駆動回路のスイッチ・ノードと相電流の波形

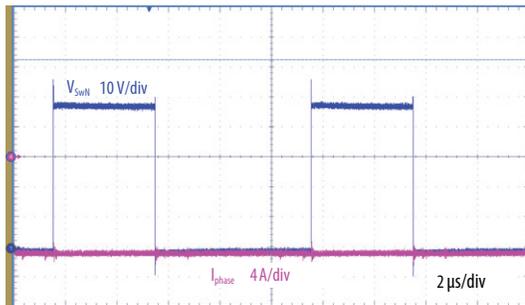
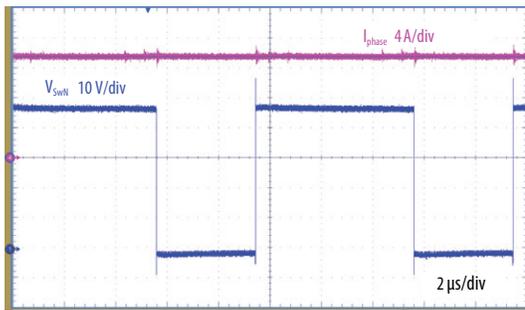


図6. 48 Vの直流電源で動作し、1相あたり10 A<sub>RMS</sub>をモーターに供給しているときに、スイッチング周波数のタイムスケールで測定したモーター駆動回路のスイッチ・ノードと相電流の波形。上の図:スイッチ・ノードから流れ出る電流。下の図:スイッチ・ノードに流れる電流。

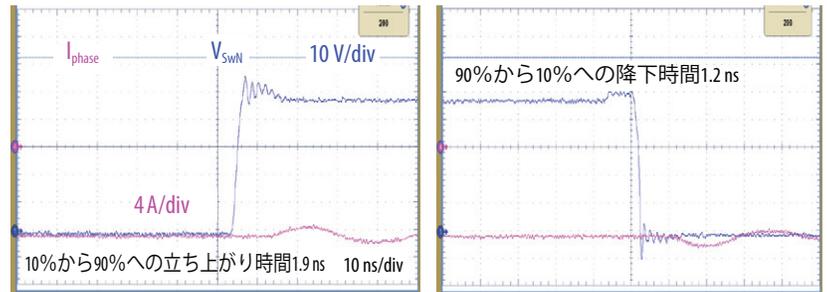
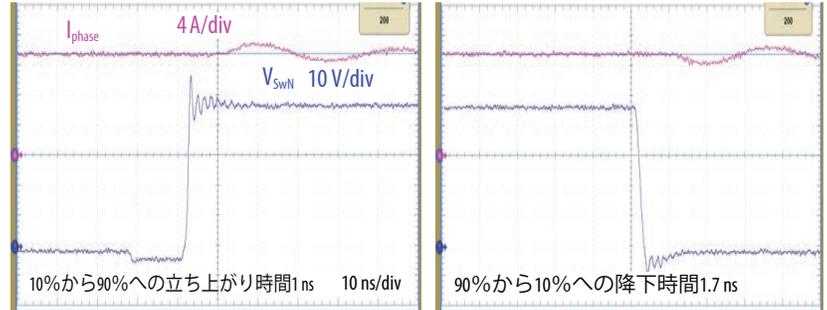


図7. 48 Vの直流電源で動作し、1相あたり10 A<sub>RMS</sub>をモーターに供給しているとき、スイッチングの過渡時のタイムスケールで測定したモーター駆動回路のスイッチ・ノードと相電流の波形。上の図:スイッチ・ノードから流れ出る電流。下の図:スイッチ・ノードに流れる電流。

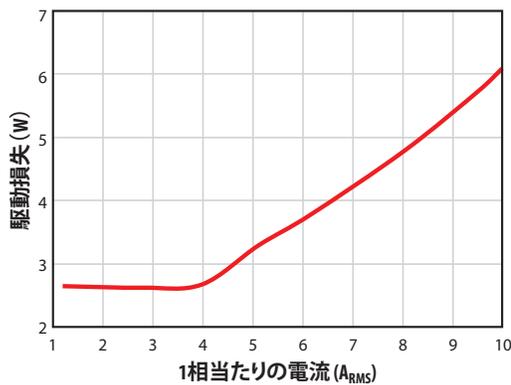


図8. モーターへの1相当たりの電流の関数として測定したモーター駆動回路の電力損失

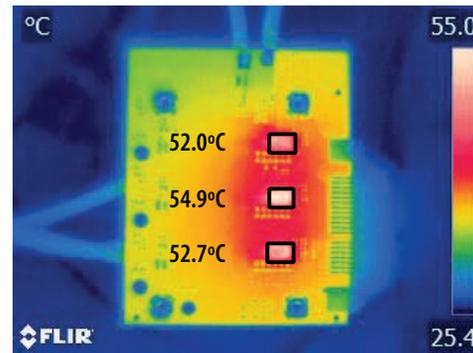


図9. 入力電圧48 V、強制空気400 LFMで1相あたり9 A<sub>RMS</sub>の電流で撮影したモーター駆動回路の熱画像

## 結論

GaNのePower StageであるEPC2152で設計した60 V、3相のBLDCモーター駆動用インバータを実証しました。FETとゲート・ドライバのモノリシック集積化によって、サイズが小さいだけでなく、高いスイッチング周波数で駆動してもスイッチング損失が小さくなります。この結果、モーターと簡単に統合できる小型の駆動回路ソリューションが実現できます。

## 参考文献

- [1] ヒートシンク付き高電力密度eGaNベース・コンバータの出力電力を一段と高める方法



詳細については、

info@epc-co.comに電子メールで、またはお近くの販売代理店にお尋ねください

EPCのウェブサイト: [epc-co.com/epc/jp/](http://epc-co.com/epc/jp/)  
bit.ly/EPCupdates に登録、または22828に「EPC」とテキストリングすれば、EPCの最新情報を受信できます



eGaNは、Efficient Power Conversion Corporation, Inc.の登録商標です