

eGaN FETを使って、1/8ブリック・サイズで48 V、1 kWの高効率LLC共振コンバータを設計する方法



動機

サーバー用途において、増加する電力需要に対応するために、標準的な48 Vバス・コンバータから、より大きな電力を引き出したいという要求が高まっています。このアプリケーション・ノートでは、48 Vのサーバー用途向けに、1/8パワー・ブリック・サイズで1 kW、変換比4対1のeGaN FETベースのLLC共振コンバータの設計について説明します。コンバータ・モジュールEPC9149 [5] は、ピーク効率97.5%、全負荷効率96.7%を実現しています。

設計の概要

このアプリケーション・ノートで採用したLLC共振回路の概略図が図1です。これは、フルブリッジの1次側、導通損失を減らすために並列接続された同期整流器を備えたセンター・タップの2次側で構成されています。シングル・コアに統合された直列接続した2x2対1対1マトリックス・トランスを設計しました。大出力電流は、2次側の複数の段に分配されるため、トランスと同期整流器との間の相互接続インダクタンスが小さくなり、巻線損失が減少します。

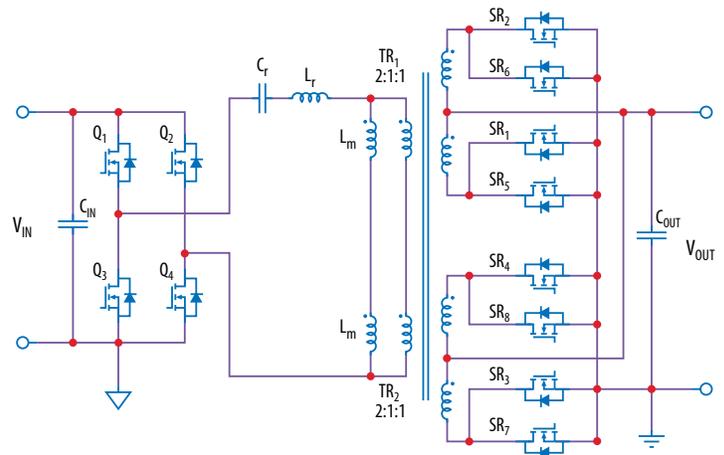


図1. 48 V、1 kWのLLC共振コンバータの電源アーキテクチャの概略図。

LLC共振コンバータ向けeGaN FETの選択

eGaN FETはソフト・スイッチングLLC共振コンバータに最適です [1]。同様の定格のSi MOSFETと比べて、低いゲート電荷 (Q_G) と5 Vのゲート駆動によって、ゲートの消費電力が非常に小さくなります。さらに、GaN FETの出力容量が小さいため、ゼロ電圧スイッチング (ZVS) を実現するために必要な電荷が、はるかに小さくなります。これによって、デッドタイムが短くなり、実効的な電力供給時間が増加するか、または、必要な磁化電流、循環エネルギー、導通損失が減少するか、します。

図2に示すように、100 V、3.2 mΩのEPC2218 [2] と40 V、1.5 mΩのEPC2024 [3] を、それぞれ1次側と2次側のパワー・デバイスに選びました。いずれのeGaN FETも、最大接合部温度150°Cで動作できます。GaN FETの形状が小さいため、同期整流器の限られた1/8パワー・ブリック・サイズでFETを8個使えます。

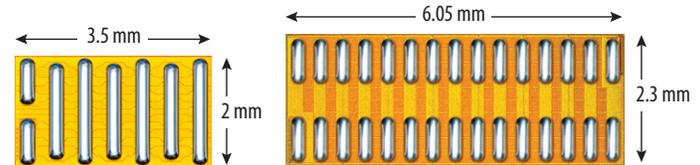


図2. EPC2218 (左) とEPC2024 (右) のパンプ側の写真。

システムの概要

この回路設計の回路ブロック図が図3です。この設計では、ハウスキューピング電源、デジタル・コントローラ、入力と出力の電圧検出も基板上に搭載しています。PWM (パルス幅変調) 信号は、米マイクロチップ・テクノロジーのdsPICコントローラであるdsPIC33CK32MP102-I/2N [4] によって生成されます。基板上に搭載したハウスキューピング電源は、ゲート・ドライバ用に5 V、コントローラ用に3.3 Vを供給します。

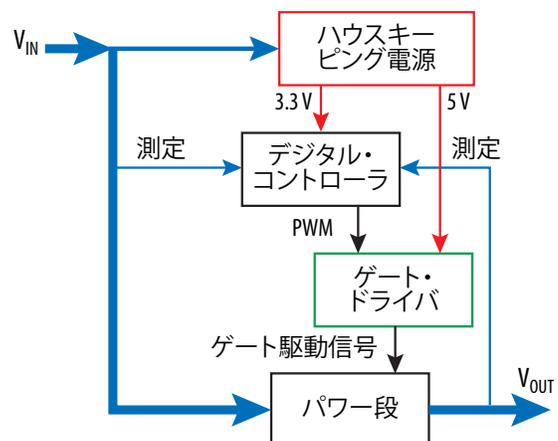


図3. LLC共振コンバータの回路ブロック図。

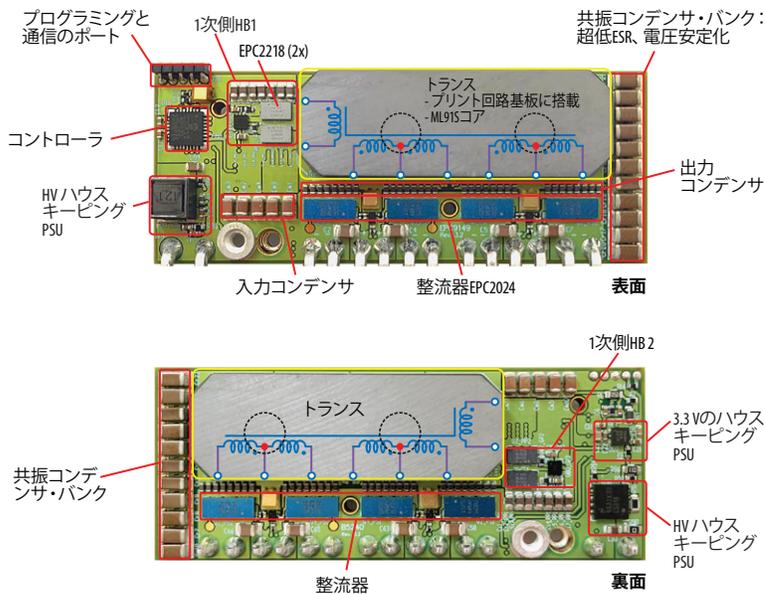


図4. EPC2218とEPC2024を搭載した1 kW、4対1のLLC共振コンバータ。

実験による検証

図4に示す1 kW、4対1のGaN FETベースのLLC共振コンバータEPC9149を設計の検証のために構築しました。

コンバータ・モジュールEPC9149は、評価のためにマザー・ボード上に設置されています。図5は、マザー・ボードとそれに実装したEPC9149です。メインの入力と出力の接続、測定ポート、入力と出力のバルク・コンデンサ、USBと通信ポートは、マザー・ボード上にあります。

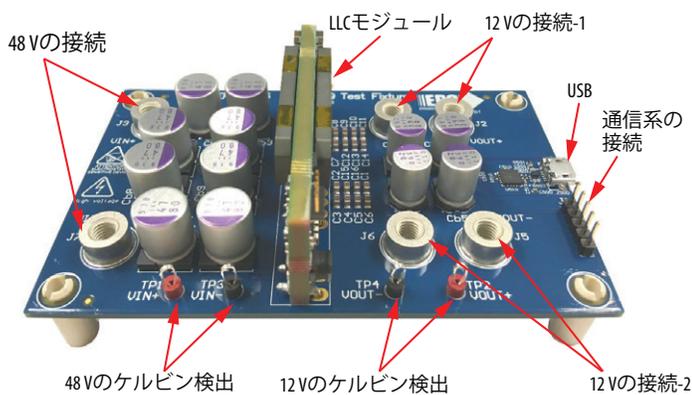


図5. 入力接続と出力接続を示すEPC9149とマザー・ボードのアセンブリ。

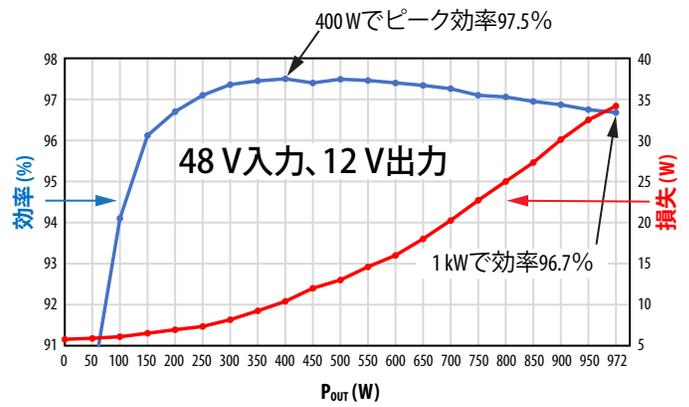
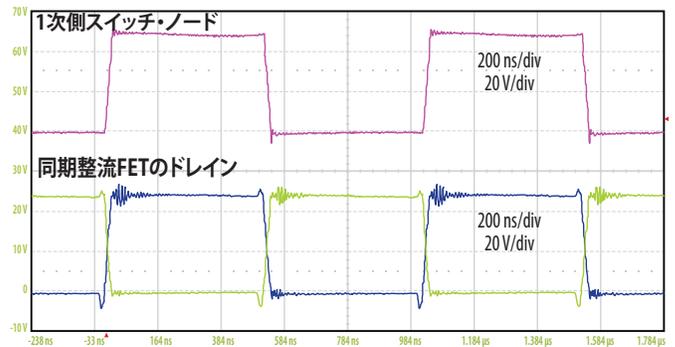


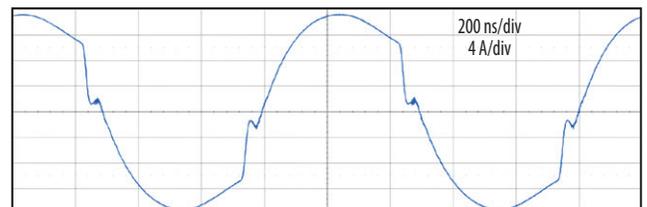
図6. 入力電圧48 V、出力電圧12 Vでの出力電力の関数としての電力効率。

ハウスキーピング消費電力を含む48 V入力、12 V出力での全体的な電力損失と効率を図6に示します。ピーク効率は97.5%、全負荷効率は96.7%です。

図7(a)に、48 V入力、12 V、83 A出力で測定したスイッチング波形を示します。ZVSは、オーバーシュートとリングがないことから明らかのように、1次側デバイスで実現できました。タンク回路を流れる共振電流が図7(b)です。この回路は、2次側FETの導通損失を減らすために、共振周波数より上で動作するように調整されています。



(a)



(b)

図7. (a)入力電圧48 Vで1 kWの負荷条件でのスイッチング波形、(b)共振タンク電流波形。

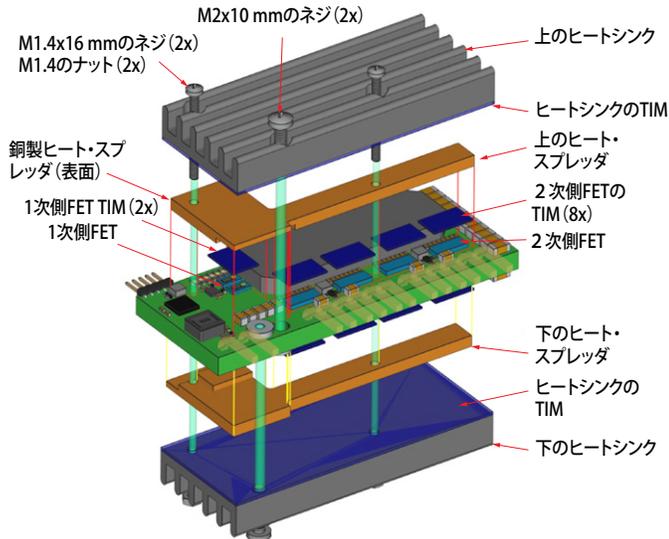


図8. モジュールEPC9149の熱ソリューションのアセンブリ工程。

EPC9149の基板の表面と裏面向けに、専用の形状のヒート・スプレッドとフィン付きヒートシンクの組み合わせを設計しました。熱ソリューション・アセンブリを図8に示します。銅製ヒート・スプレッドを1次側と2次側の両方のFETの上部に配置し、外部構造に放熱します。銅製ヒート・スプレッドには、ヒート・スプレッドの一部をプリント回路基板上に配置して、追加の冷却と機械的安定性を提供し、ヒート・スプレッドとFET表面の間の正しい間隔を定義する輪郭を示す機能があります。部品とヒート・スプレッドの金属表面の間に断熱性と高い熱伝導率を提供するためには、ヒート・スプレッドの下にギャップ・フィラーTIM（熱伝導材料）を追加するだけで済みます。機械的構造全体を一緒に保持するために、機械的ネジを基板に挿入します。

図9は、ヒートシンクを搭載したコンバータ・モジュールとエアフローの方向を示しています。

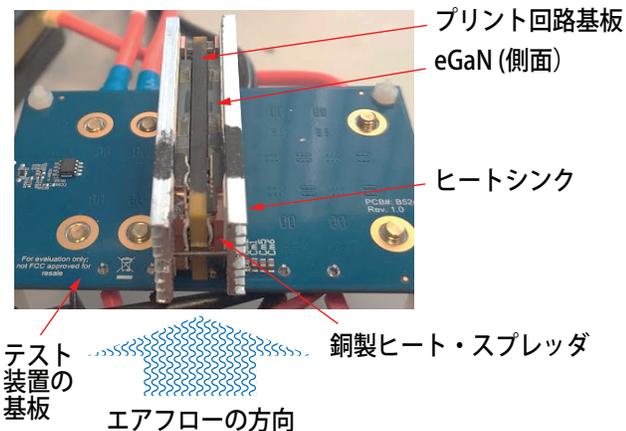


図9. EPC9149の熱測定の設定。

EPC9149は、通常の周囲温度でのベンチ評価を目的としています。ヒート・スプレッドまたはヒートシンクと、強制空冷を追加すると、パワー・デバイスの定格電流を大幅に大きくできる可能性があります。チップの絶対最大接合部温度である150°Cを超えないように注意しなければなりません。図10は、定常状態でのモジュールの熱画像です。

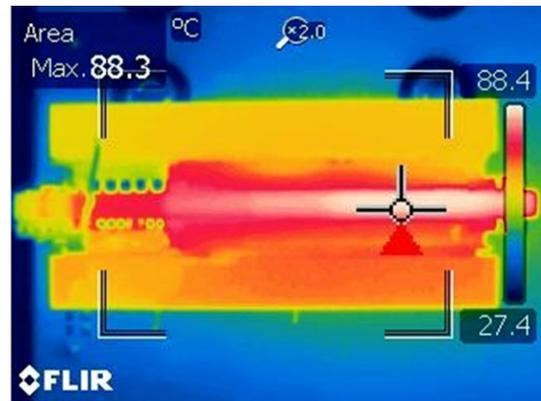


図10. 48 V入力、12 V、83.3 A出力で動作したときのEPC9149の熱画像。強制空冷400 LFM、10分後に熱定常状態に到達、最も高い基板温度。

結論

EPC9149は、48 V入力、1 kW出力、変換比4対1で、eGaN FETを使って構成した1/8パワー・ブリック・サイズのLLC共振コンバータです。測定されたピーク効率は97.5%で、全電力時の効率はハウスキーピング電力消費を含めて96.7%です。eGaN FETのゲート容量、出力電荷、オン抵抗が小さいこと、および小型形状は、1227 W/立方インチ(1インチは2.54 cm)を超える電力密度で、これを実現するための鍵です。

参考文献

- [1] A. Lidow, M. de Rooij, J. Strydom, D. Reusch, and J. Glaser, GaN Transistors for Efficient Power Conversion, 3rd ed. Wiley, 2019.
- [2] EPC. (2021). "EPC2218 datasheet," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/datasheets/epc2218_datasheet.pdf
- [3] EPC. (2021). "EPC2024 datasheet," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/datasheets/epc2024_datasheet.pdf
- [4] Microchip. (2018-2020). [online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/dsPIC33CK32MP102>
- [5] EPC. (2021). "EPC9149 QSG," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/guides/epc9149_qsg.pdf

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/

bit.ly/EPCupdates に登録、または22828に「EPC」とキスティングすれば、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