

eGaN® FETを使って1/8ブリック・サイズの48 V、1.2 kWの高効率LLC共振コンバータを設計する方法



動機

サーバー用途で電力要件の大電力化に対応するために、標準の48 Vバス・コンバータから、より大きな電力を抽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1.2 kW、変換比4対1のeGaN FETベース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・モジュールのEPC9174 [1] は、ピーク効率97.3%、全負荷効率96.3%が得られます。

設計の概要

この作業で採用したLLC共振回路構成の概略図が図1です。これは、フルブリッジの1次側と、導通損失を減らすために並列接続し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2×2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、複数の2次側段に分散されるため、トランスと同期整流器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。

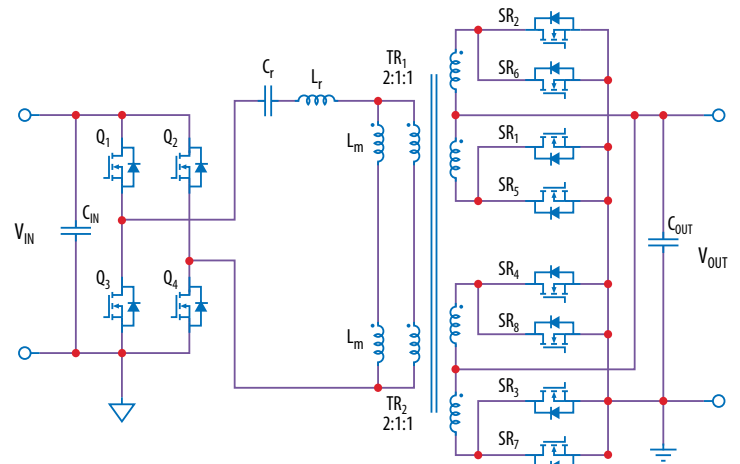


図1. 48 V、1.2 kWのLLC共振コンバータの電源アーキテクチャの概略図

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 [2]。同様の定格のSi MOSFETと比べて、低ゲート電荷 (Q_G) で5 Vのゲート駆動によって、ゲートの消費電力が大幅に削減されます。さらに、GaN FETの出力容量がはるかに小さいため、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非常に少なくなります。これによって、デッドタイムを短縮でき、実効的な電力供給時間が長くなるか、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、定格100 V、オン抵抗2.2 mΩのEPC2071 [3] と、定格40 V、オン抵抗1 mΩのEPC2066 [4] 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8個のFETを利用できます。

回路設計の回路ブロック図を図3に示します。この設計には、基板上のハウスキーピング電源、デジタル・コントローラ、入力と出力の電圧検出も含まれています。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 [5] が生成します。ハウスキーピング電源は、ゲート・ドライバ用に5 V、コントローラ用に3.3 Vを生成します。

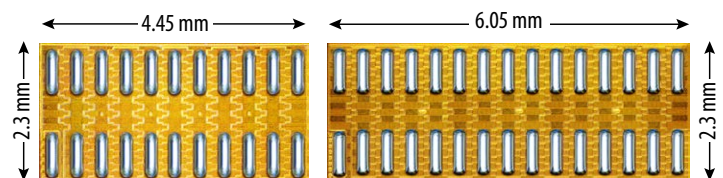


図2. EPC2071 (左) とEPC2066 (右) のポンプ側の写真。

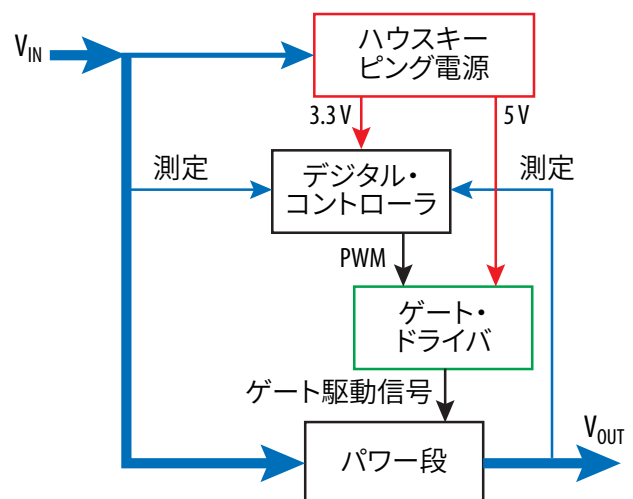


図3. LLC共振コンバータの回路ブロック図。

実験的検証

図4に示す1.2 kW、変換比4対1のGaN FETベースのLLC共振コンバータ EPC9174を設計の検証のために構築しました。

コンバータ・モジュールのEPC9174は、評価のためにマザー・ボード上に設置しています。図5は、マザー・ボードとそれに取り付けられた

EPC9174を示しています。メインの入力接続と出力接続、測定ポート、バルク入力コンデンサと出力コンデンサ、USBおよび通信ポートがマザー・ボード上に配置されています。

ハウスキーピング消費電力を含む48 V入力と12 V出力での全体的な電力損失と効率が図6です。ピーク効率は97.3%、全負荷効率は96.3%です。

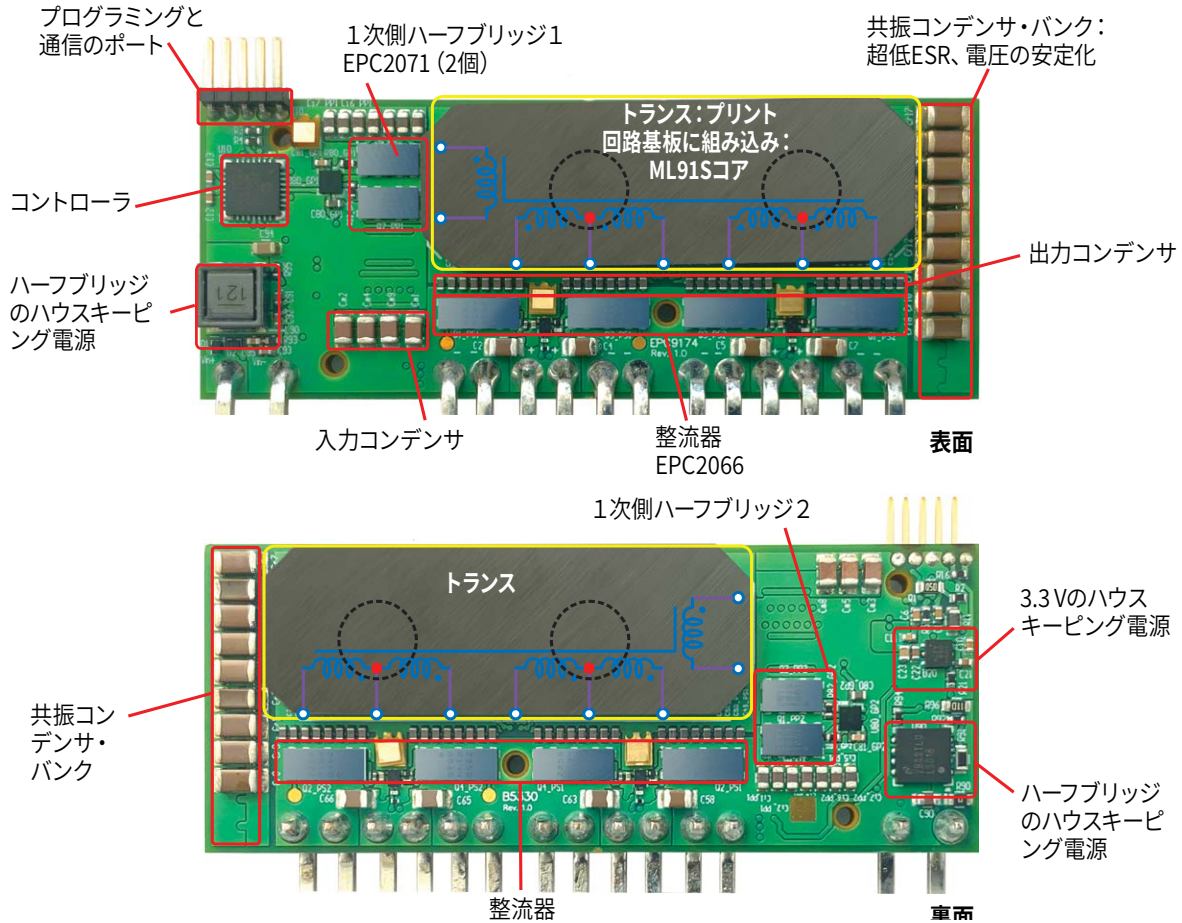


図4. EPC2071とEPC2066を使った1.2 kW、変換比4対1のLLC共振コンバータ。

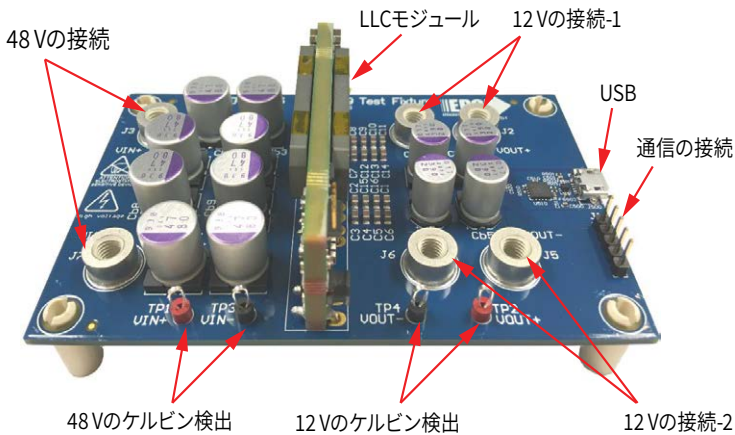


図5. 入力接続と出力接続を示すEPC9174とマザー・ボードのアセンブリ。

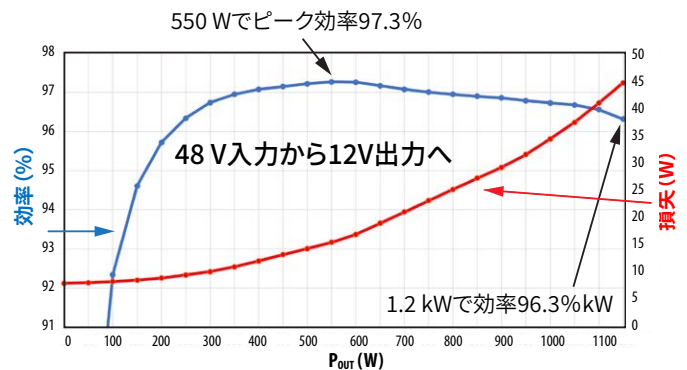
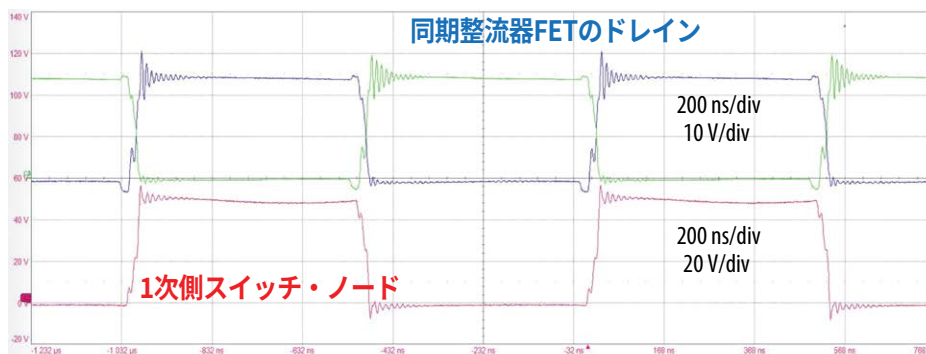


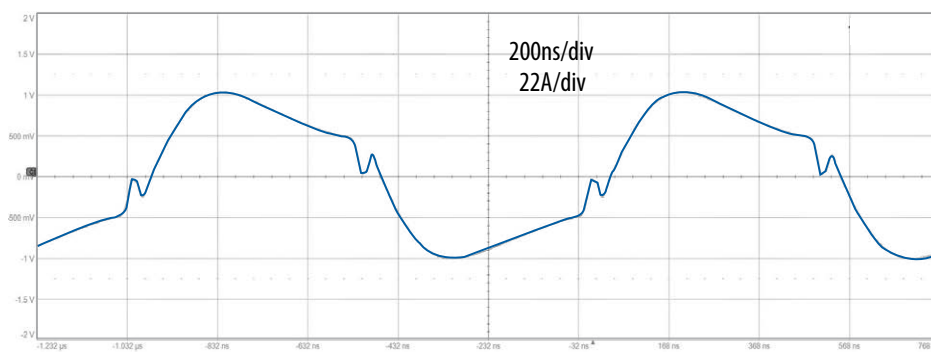
図6. 入力電圧48 V、出力電圧12 Vでの出力電力の関数としての電力効率。

図7(a)に、48 V入力、12 V、100 A出力での測定されたスイッチング波形を示します。ZVSは、オーバーシュートや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されました。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、共振より上の周波数で動作するように調整されています。

EPC9174基板の表面と裏面に、カスタム形状のヒート・スプレッタとフィン付きヒートシンクを組み合わせて設計しました。この熱ソリューションのアセンブリが図8です。



(a)



(b)

図7. (a) 入力電圧48 V、負荷条件1.2 kWでのスイッチング波形、(b) 共振タンク電流の波形。

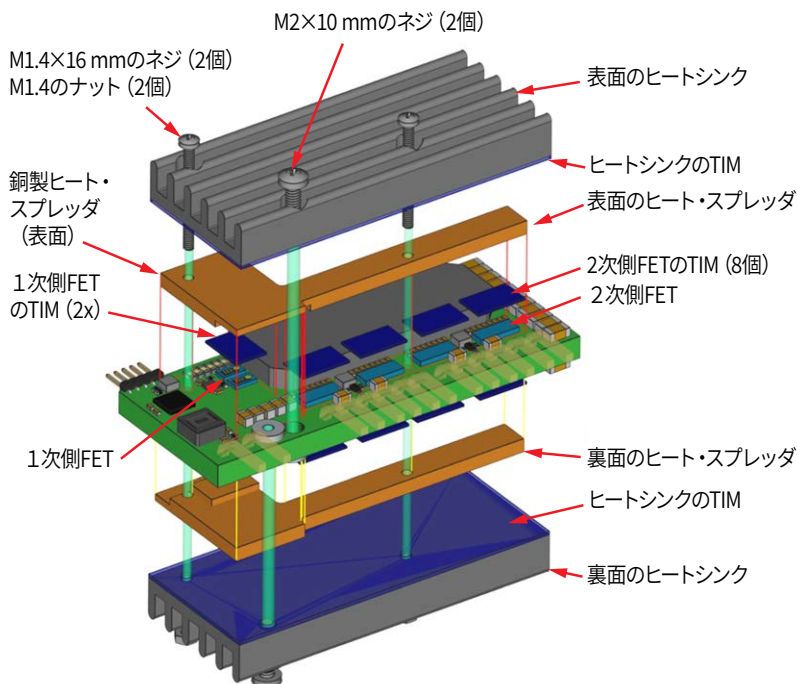


図8. EPC9174モジュールの熱ソリューションのアセンブリ工程。

銅製ヒート・スプレッタは、1次側と2次側の両方のFETの上部に配置され、外部構造に放熱します。2個の高さ1 mmの銅製シムを使ってギャップを埋め、基板表面の冷却を助けます。部品と、ヒート・スプレッタの金属面の間に絶縁性と高い熱伝導率を提供するために、ヒート・スプレッタの下にギャップ・フィラーTIM(熱伝導材料)を追加するだけで済みます。プリント回路基板の表面にヒート・スプレッタを実装するためにいくつかの機械的シムを使います。ヒート・スプレッタと部品表面の間に必要な間隔を維持するために役立ちます。機械的ネジが基板に挿入され、機械的構造全体と一緒に保持されます。

EPC9174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・スプレッタ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することができますが、チップの絶対最大温度である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を示しています。

結論

EPC9174は、48 V入力、1.2 kW出力、変換比4対1の1/8パワー・ブリック・サイズのLLC共振コンバータをeGaN FETを使って構築しました。測定されたピーク効率は97.3%であり、全出力電力での効率は、ハウスキーパー電力消費を含めて96.3%です。eGaN FETのゲート容量、出力電荷、オン抵抗が小さいことと小型形状は、1472 W/立方インチを超える電力密度を実現するための鍵です。

参考文献

- [1] EPC. (2022). "EPC9174 QSG," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/guides/epc9174_qsg.pdf
- [2] A. Lidow, M. de Rooij, J. Strydom, D. Reusch, and J. Glaser, *GaN Transistors for Efficient Power Conversion*, 第3版. Wiley, 2019.
- [3] EPC. (2022). "EPC2071 datasheet," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/datasheets/epc2071_datasheet.pdf
- [4] EPC. (2022). "EPC2066 datasheet," [online]. Available: https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/datasheets/epc2066_datasheet.pdf
- [5] Microchip. (2018-2020). [online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/dsPIC33CK32MP102>

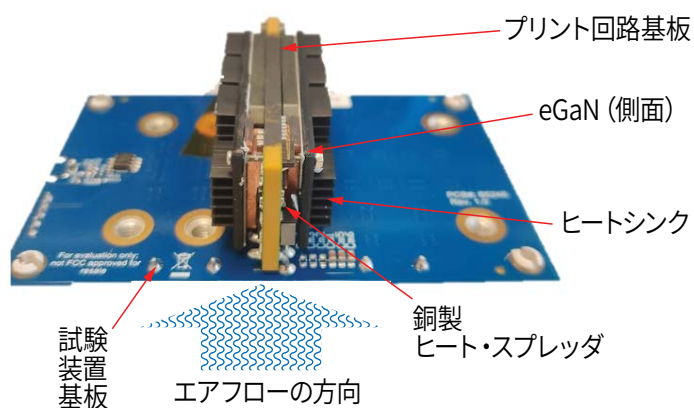


図9. EPC9174の熱測定の構成。

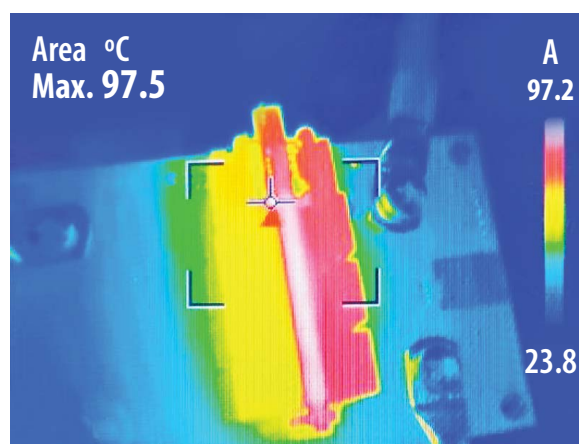


図10. 48V入力、12V、100A出力、1000 LFMの強制空冷、10分後に到達した熱定常状態、最高基板温度で動作するEPC9174の熱画像。



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