

モノリシックGaNのePower™ Stageを使った48 V入力、12 V出力で双方向の $1/16$ ブリック・コンバータの設計方法



はじめに

ブリックDC-DCコンバータは、データセンター、電気通信、自動車の各アプリケーションで広く使われており、公称48 Vのバスを公称12 Vのバス（または、12 Vから48 Vへの昇圧）に変換します。GaN集積回路（IC）技術の進歩によって、ハーフブリッジとゲート・ドライバの集積化が可能になり、この結果、レイアウトが簡素化され、面積が最小化され、コストが削減されるワン・チップ・ソリューションが実現できます。

このアプリケーション・ノートでは、最大出力電力300 W、ピーク効率95%で、48 V入力、12 V出力のアプリケーション向けの集積化したGaNパワー段を使ったデジタル制御の双方向 $1/16$ ブリック・コンバータの設計について説明します。

$1/16$ ブリック・コンバータの標準的な面積は、 33×22.9 mm (1.3×0.9 インチ)です。この設計の高さ制限は10 mm (0.4インチ)に設定されています。

モノリシックGaNのePower™ Stage

GaN FETとゲート駆動のモノリシック集積化によって、性能が向上し、基板レイアウトが簡素化されます。さらに、寄生のインダクタンスと容量、および関連する損失も低減します。

図1 (a) は、GaNのePower™ StageであるEPC2152の回路ブロックの概略図です [1]。主なパワーFETは、集積されたゲート・ドライバによって制御されます。このICには、3.3 V~5 Vの論理レベルを入力できる入力バッファも含まれています。パワー・オン・リセット (POR) 機能や、低電圧ロックアウト (UVLO) 機能、高電圧信号のレベル・シフト回路、同期ブストラップFETなどの標準的な回路も搭載されています [2]。モノリシックGaNパワー段の写真が図1 (b) です。パワーGaN FETは両方とも、定格80 Vで、オン抵抗は10 mΩです。

双方向DC-DCコンバータの設計

大電力の $1/16$ ブリックを設計する際の重要な課題の1つは、スペースが限られていることです。集積化されたEPC2152の面積は、わずか18 mm²で済み、高効率を達成することに貢献する適切なデカップリング・コンデンサのための余地を残せます。

双方向対応の $1/16$ ブリックDC-DCコンバータEPC9151の概略図を図2に示します。これには、2相同期整流用バックのパワー段、デジタル・コントローラ、電流検出器、およびハウスキープ電源が搭載されています。ピーク電流要件が軽減され、より小さな磁気部品をえるように、2相のアプローチを選択しました。

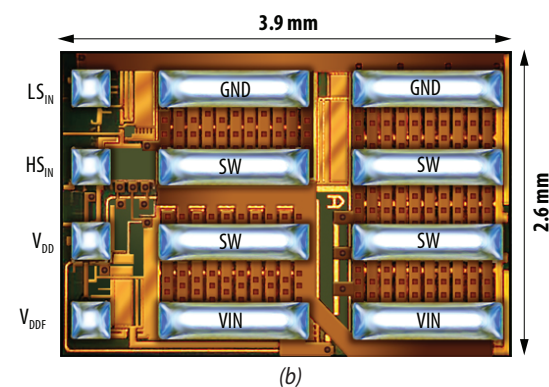
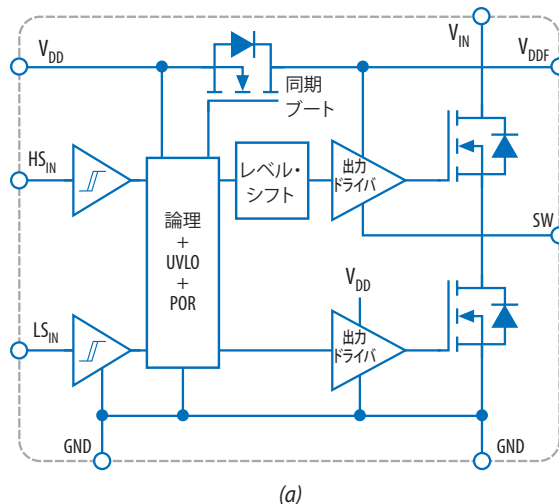


図1. (a) は回路ブロック図、(b) はモノリシックGaNのePower StageであるEPC2152の写真 [1]

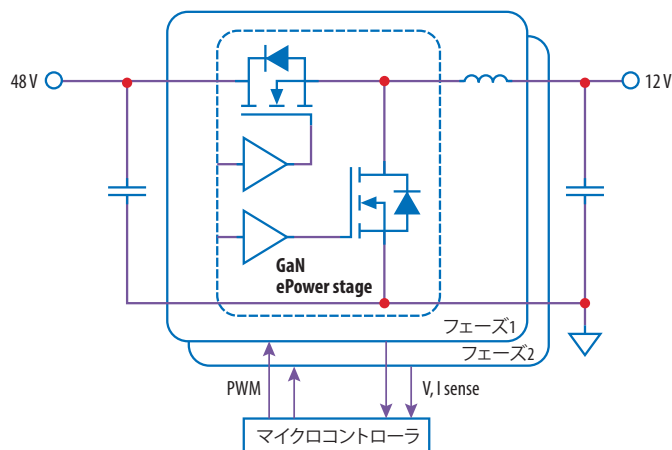


図2. $1/16$ ブリックの双方向DC-DCコンバータの回路図

集積されたパワー段を使うと、パワー・ループのインダクタンスを簡単に最小化できます。高周波デカップリング・コンデンサは、最適なレイアウト [4] 手法を使って、ICの隣に配置され、図3に示すように、プリント回路基板の2番目の層は、グラウンド面です。この6層プリント回路基板には、この他、グラウンド面が2層あり、電圧と電流のフィードバック信号のシールド、および、放熱特性の向上のために使っています。

TDKのB82559シリーズのコイル [5] を使い、面積は $13 \times 10.7 \text{ mm}$ ($0.51 \times 0.42 \text{ インチ}$)、高さは5 mmまたは6 mmです。2.4 μH のコイルの飽和電流定格は16.5 Aです。したがって、スイッチング周波数を500 kHzにし、飽和電流要件を満たす48 Vから12 Vへ（または、その逆）の変換時にピーク電流16.25 Aが得られます。

デジタル制御

米マイクロチップ・テクノロジーのデジタル・コントローラ dsPIC33CK32MP102 [6] を使います。これは、CPUの最大速度が100 MIPSの16ビット・プロセッサです。パルス幅変調 (PWM) モジュールは、高分解能モードで構成できるため、デューティ比とデッドタイムで250 psの分解能が得られ、デッドタイムを正確に調整してGaN FETの高性能を十分に活用できます。

デジタル平均電流モード制御は、降圧モードと昇圧モードの両方に実装されています。電流検出回路は、検出抵抗と差動アンプで構成されています。この設計では、低損失の1 m Ω の検出抵抗と低雑音アンプMCP6C02を使っています。制御回路のブロック図が図4です。2つの独立した電流ループに同じ電流リファレンス I_{REF} を使います。この結果、両方のコイルの電流が同じ値に安定化されます。2つの内部電流ループの帯域幅は、10 kHzに設定され、外部電圧ループの帯域幅は2 kHzに設定されています。

実験結果

図5は、テスト回路EPC9531に取り付けた $1/16$ ブリック・コンバータEPC9151の表面とその裏面の写真です。設計のスタンドオフの高さの合計は9.1 mmで、コイルが6 mm、プリント回路基板が1.6 mm、裏面の部品 (0805サイズのコンデンサ) が1.5 mmです。

図5 (上図) のテスト回路EPC9531には、47 μF の入力容量と200 μF の出力容量が追加されています。これらの追加の容量は、コントローラの安定性を維持する助けになります。このテスト回路は、プログラミング・ポートとUSB通信も提供します。

ヒートシンクがなく、1700 LFMのエアフローがある場合、測定された熱定常状態の効率と損失は、降圧モードのときが図6 (a)、昇圧モードが図6 (b) です。ピーク効率は、降圧モードで95.5%、昇圧モードで95.1%です。図7の熱画像に示すように、デバイスの最大温度は、最大出力電力で89°Cに達しました。400~800 LFMなどの緩やかなエアフローのある環境では、ヒートシンクが必要です。

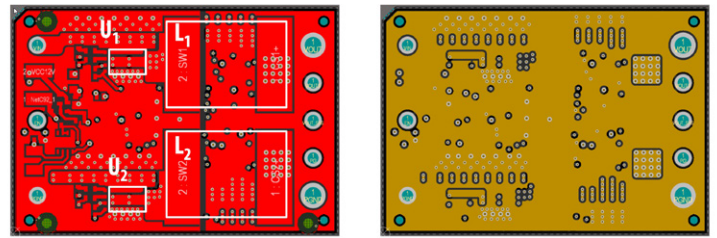


図3. EPC2152を搭載し、簡素化したレイアウトを示すプリント回路基板の最初の2層

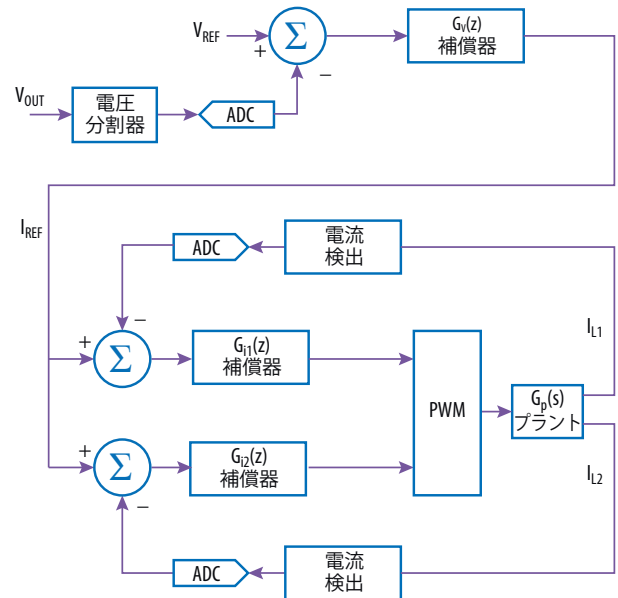


図4. マルチループ2相コンバータの制御回路ブロック図

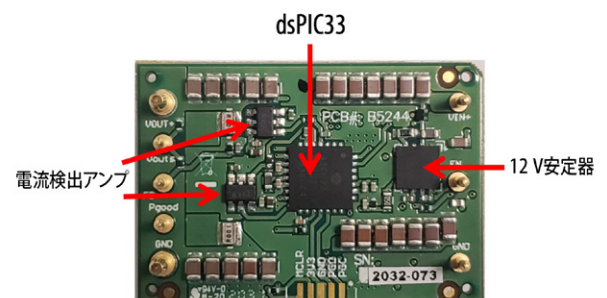
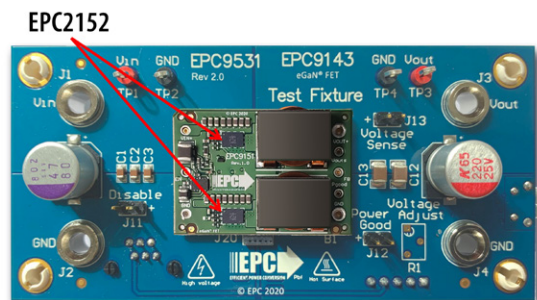


図5. $1/16$ ブリック・コンバータEPC9151の表面と裏面

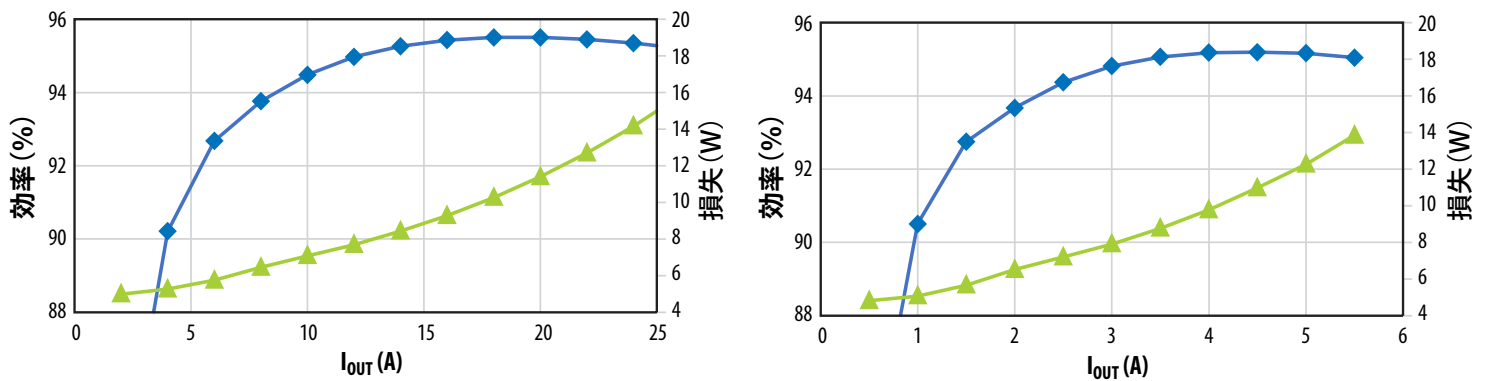


図6. $1/16$ ブリック・コンバータで測定された効率と損失: (a) $V_{IN}=48\text{ V}$, $V_{OUT}=12\text{ V}$ (降圧); (b) $V_{IN}=12\text{ V}$, $V_{OUT}=48\text{ V}$ (昇圧)

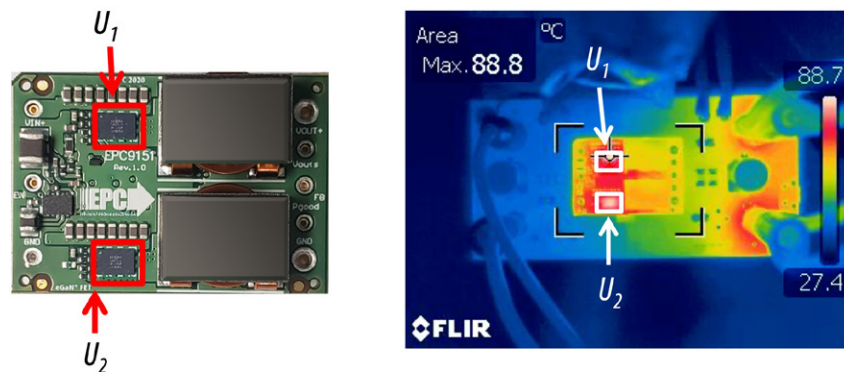


図7. 熱定常状態で動作する $1/16$ ブリック・コンバータの熱画像;
 $V_{IN}=48\text{ V}$, $V_{OUT}=12\text{ V}$, 出力電流25 A, エアフロー1700 LFMのとき

結論

このアプリケーション・ノートでは、2個のモノリシック集積化した GaN パワー段 EPC2152 を使った双方向の大電力 $1/16$ ブリック・コンバータ EPC9151 を紹介しました。これは、最先端の MOSFET 設計と比べて、よりシンプルなレイアウトと、より高い電力密度を実証しています。300 W で 48 V 入力、12 V 出力 (または、その逆) のコンバータ設計では、ピーク効率 95% が得られました。

参考文献

- [1] "EPC2152 – 80 V, 10 A Integrated ePower™ Stage," Efficient Power Conversion Preliminary Datasheet, Jan. 2020.
- [2] M.A. de Rooij, J.T. Strydom, D.C. Reusch, "High Voltage Zero QRR bootstrap Supply," United States Patent US9,667,245 B2, May 30, 2017.

[3] Y. Zhang and M. de Rooij, "300 W 48V-12V Digitally Controlled $1/16^{\text{th}}$ Brick DC-DC Converter Using GaN FETs," PCIM - Europe, July 2020.

[4] A. Lidow, M. De Rooij, J. Strydom, D. Reusch, and J. Glaser, GaN transistors for efficient power conversion, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2019. ISBN: 978-1119594147.

[5] TDK. (2012). SMT power inductors, [Online]. Available: https://www.tdk-electronics.tdk.com/inf/30/db/ind 2008/b82559_a013.pdf.

[6] Microchip Technology Inc. (2019). 16-bit PIC Microcontrollers Family, [Online]. Available: <https://www.microchip.com/design-centers/16-bit>.

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