

低電圧DC-DCアプリケーション向け eGaN[®] IC



Michael de Rooij博士、アプリケーション・エンジニアリング部門バイス・プレジデント、Yuanzhe Zhang博士、アプリケーション・エンジニアリング部門ディレクタ

EPCのeGaN[®] FETは、多くのアプリケーションで、MOSFETの同等品を超える高い性能が何回も実証されています [1]。eGaN FETの横型構造と材料特性によって、EPC2107などの製品で実証されているように、多数のFETをモノリシック集積化することが可能です [2]。eGaN FETとICの進化における次の段階は、ゲート・ドライバの集積化です。ゲート・ドライバをFETと共に集積化することは、極めて低い共通ソース・インダクタンス、FETとゲート・ドライバの整合性、および設計の容易さなど、ディスクリートのゲート・ドライバとFETによるソリューションを超える多くのさらなる利点があります。同等のMOSFETと比べて、所望のオン抵抗に対して、実装面積が小さく逆回復電荷 (Q_{RR}) がゼロで、容量とインダクタンスが非常に小さいなどの従来のすべてのeGaN FETに共通の利点は変わりません。加えて、新しい特性と利点を組み合わせた効果によって、同等のMOSFETを上回るはるかに優れた特性が得られます。

このアプリケーション・ノートでは、EPCの新しいeGaN ICのEPC2112を紹介します。EPC2112は、デモ・ボードEPC9131に搭載された14 V~48 V入力、19 V出力で27 WのSEPIC (single-ended primary-inductor converter) で使うゲート・ドライバ [3] を集積化しています。SEPICコンバータは、入力電圧範囲が広く、出力電圧が入力電圧より低くても高くてもよいアプリケーションに最適です。1つの応用例として、共振型ワイヤレス・パワー受信器向けのポスト電圧レギュレータがあります。このアプリケーションでは、整流された電圧は、電源面からの距離、他の異物の存在と位置、負荷電力要件などの要因に依存します。

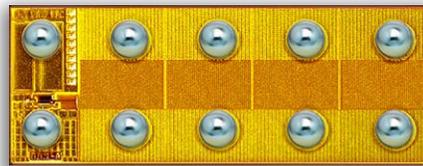


図1. eGaN ICであるEPC2112のバンプ側面積2.9×1.1 mm。

eGaN ICのEPC2112の紹介

eGaN FETの横型構造によって、性能を高め、コストを削減し、設計を単純化することを目的としたゲート・ドライバとパワーFETのモノリシック化が可能になります。シングルFETのeGaN ICであるEPC2112は、それを念頭に置いて設計されました。図1がEPC2112のバンプ側の写真です。バンプ数が少なく、動作に必要なのは入力信号と5 Vの電源電圧だけです。このバンプの割り当ては、レイアウトしやすいので、設計を完成しやすくなり、それによって確実に高性能化できます。

ゲート・ドライバをFETに集積化すると、IC構造内に入るため、共通ソース・インダクタンス (CSI: common source inductance) が可能な限り小さくなります。さらに、ゲート・ドライバは、任意の動作条件下で最大の特性が得られるようにFETを駆動するために、最適化されています。これらの利点には、十分に確立された低容量、低インダクタンス、および、ハード・スイッチング条件の下でさえも高いスイッチング周波数で高効率な動作を可能にする逆回復電荷 (Q_{RR}) ゼロがあります。EPC2112の主な特性が表1です

SEPICの概要

シングル・スイッチのSEPIC構成は、非反転出力のバック/ブースト・コンバータです。結合コイルや2個の独立したコイルで構成できます。このアプリケーション・ノートでは、2個の独立したコイルの構成を評価します。EPC2112を使ったSEPICの電源回路図が図2です。

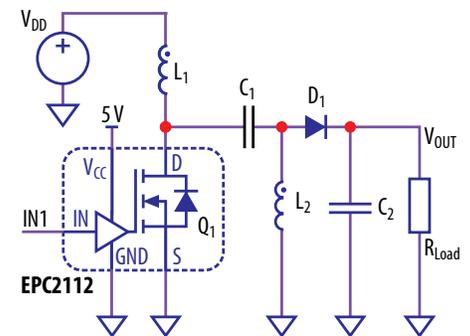


図2. ゲート・ドライバを集積したEPC2112搭載SEPICの回路図。

型番	V_{DS}	$R_{DS(on)}$ $V_{IN} = 5 V,$ $V_{CC} = 5 V,$ $T_J = 25^\circ C$	Q_{oss} $V_{IN} = 0 V,$ $V_{CC} = 5 V$	I_D 連続 $T_A = 25^\circ C$
EPC2112	200 V	40 mΩ	24 nC $V_{DS} = 100 V$	10 A $R_{\theta JA} = 18^\circ C/W$

表1. EPC2112の主な特性。

2つの独立したコイルのSEPICの設計手順には、よい資料があります [4,5,6]。このアプリケーション・ノートではコンバータの設計のためにこれらに従っています。SEPICのスイッチにeGaN ICを選択すると、ハード・スイッチング条件下での動作にもかかわらず、高い周波数で高効率の動作が可能になります。スイッチング周波数を高くすると、より小さい値のコイルが使い、それによって特性を犠牲にすることなくコンバータのサイズを小型化できます。

設計例

表2に示す仕様のSEPICの設計例を示します。

電流モードのコントローラLM3481 [7] は、eGaN ICに電源電圧を供給するために使えるレギュレータを内蔵しているため、SEPIC用に選択しました。LM3481は、広い入力電圧範囲と負荷電力範囲にわたって動作可能な安定したコンバータを実現するように構成できるさまざまな制御や保護機能も備えています。

SEPIC向けに設計された電源回路の部品も表2に示します。最近の多くのコンバータ・アプリケーションには、厚さ(部品の高さ)の制限があるため、この設計例で選択した部品の高さは4 mm以下でした。この設計では、米ビシエイ・インターテクノロジーの低背フェライト・コイル (IHLP2525CZER220M11) とニチコンの低背電解コンデンサ (UZRH1H100MCL1GB) を、基板上の最も高い部品として使いました。出力の整流器には、米Diodesの5 Aに対応する100 Vのショットキー・ダイオード (PDS 5100-13) を使いました。構成したプリント回路基板の写真が図3です。

全動作範囲にわたって安定した動作を保証するために、[8] と同様の平均モデルを2個のコイルのSEPICに対して作成し、フィードバック・コントローラの位相と利得のマーヅンを決めるために使いました。[9] で与えられたフィードバック・コントローラの設計方法は、最大制御帯域幅になるように参考にしました。安定した動作をさらに確実にし、低電源電圧条件下で入力電流を制限するために、スローブ補償付き電流モード制御が実装されています。

EPC2112のピン配置によって、高性能の要件を満たすレイアウトを容易に設計できます。図4のバンクの配置は、電力バンクと制御バンクのグループ化を示しています。低ループ・インダクタンスは、高性能動作に必須であり、これは電力バンクの長細いレイアウトを使って実現しました。この制御信号はデバイスの片側に供給され、電力ループと制御ループを適切に分離できます。

レイアウト例が図5です。ここで、制御回路は左側、電力系は右側に配置され、互いに分離して設計することができます。ゲート・ドライバが集積化されているので、PWM (パルス幅変調) のループ・インダクタンスは、単体FETの設計の場合よりも重要性が著しく小さくなります。したがって、このコントローラは、eGaN ICからさらに離して配置してもよいかもしれません。ドレインとソースの接続のための広いトレースは、電力ループ・インダクタンスを確実に小さくします。この設計は、ほとんどの接続が単一層上にある2層のみを使って実現できるため、裏の層を接地専用割り当て、回路からのEMI (電磁干渉) 放射を確実に小さくできます。

入力電圧	出力電圧	周波数	最大出力電力	C ₁	D ₁	L ₁ , L ₂
14-48 V	19 V	300 kHz	27 W	20 μF	100 V, 5 A	22 μH

表2. SEPICの設計パラメータのまとめ。

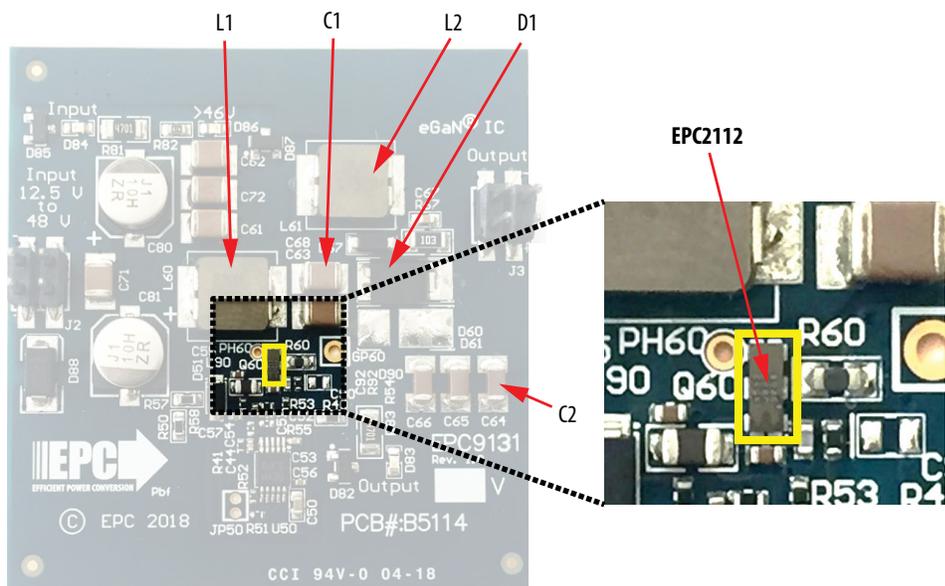


図3. EPC2112を搭載したSEPICレギュレータEPC9131の写真。

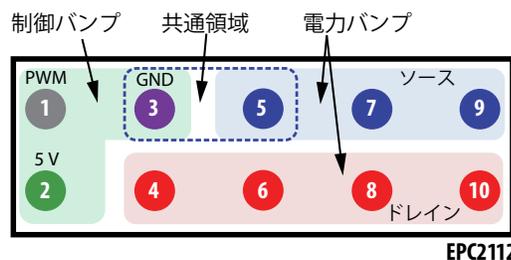


図4. レイアウトを単純化するためのバンクの配置。

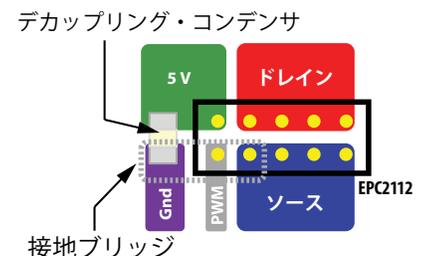


図5. 電力ループのインダクタンスが小さいレイアウト例。

設計の評価

SEPICコンバータは、評価基板EPC9131で設計され、さまざまな入力電圧と負荷電力の設定の下でテストしました。コンバータの効率は、20 V~48 Vの離散的な入力電圧ステップで、出力電力1 W~27 Wの範囲で測定しました。測定した電力損失には、ロジック/制御回路が含まれ、この結果が図6です。ピーク効率は、20 V入力で約90%

です。入力電圧が上昇すると、電力損失が増加します。48 V入力、27 W出力での効率は85%です。EPC2112を使ったSEPICの測定されたスイッチ・ノード波形を図7に示します。これは、ハード・スイッチングにもかかわらず良好なきれいな遷移を示していることが分かります。集積化したゲート・ドライバの性能を検証するために、第2の同じSEPICを設計しました。唯一の

違いは、米テキサス・インスツルメンツが市販しているディスクリートGaⁿ互換のゲート・ドライバ(UCC27611) [10] と、eGaN ICのEPC2112を置き換えたeGaN FET (EPC2019) [11]とを組み合わせ合わせた構成にしたことです。このコンバータの効率は、eGaN IC版と同じ範囲の出力電力を供給し、48 V入力で測定しました。この結果が図8です。

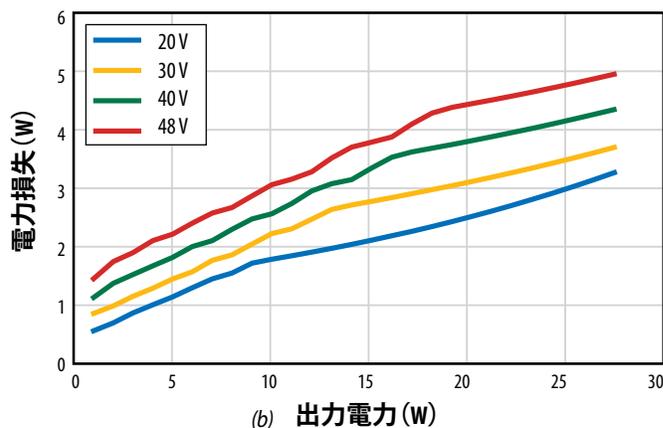
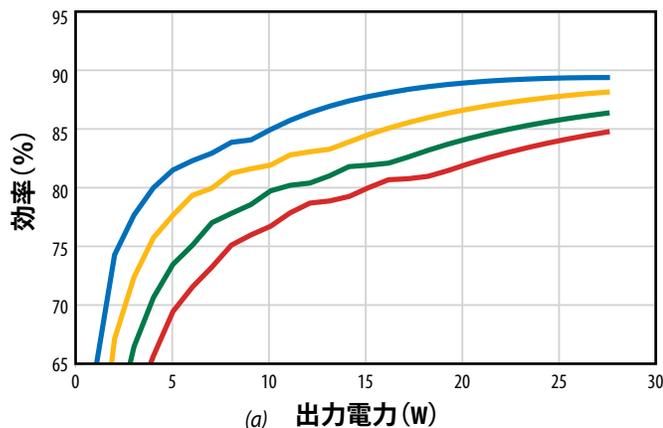


図6. 1 W~27 Wの負荷範囲にわたって19 Vの出力を供給し、さまざまな入力電圧に対してEPC2112を使ったSEPICコンバータEPC9131で測定した (a) 全効率と、(b) 全電力損失。

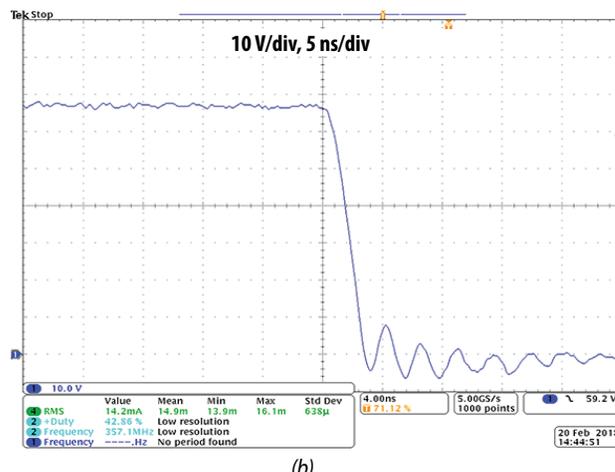
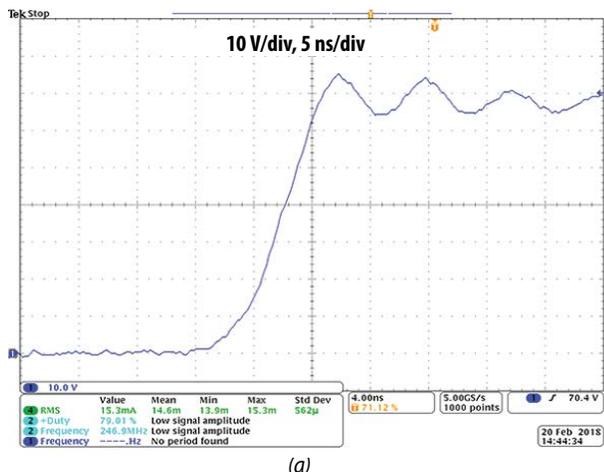
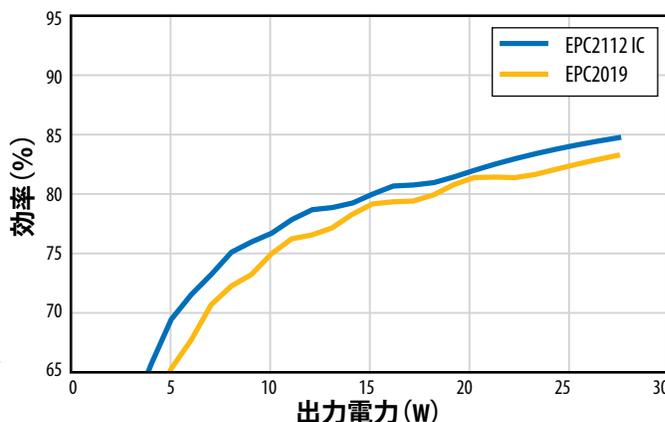


図7. 48 V入力、19 V、27 W出力におけるSEPICのスイッチ・ノード電圧波形。(a) 立ち上がりエッジと(b) 降下エッジ。

まとめ

このアプリケーション・ノートでは、ワイヤレス・パワー受信器用のポスト・レギュレータなど、低電圧DC-DCアプリケーションに適した300 kHzのハード・スイッチングSEPIC内でeGaN ICのEPC2112を評価し、紹介しました。集積したゲート・ドライバは、ディスクリートのゲート・ドライバと比べて同様の特性、場合によっては、優れた特性が得られます。eGaN ICのEPC2112は、設計と基板を単純化できるので、ディスクリートのソリューションと比べて、特性を犠牲にすることなくコストと設計時間を削減できます。

図8. EPC2112およびEPC2019を使ったSEPICの全効率測定の比較。



参考文献:

- [1] A. Lidow, J. Strydom, M. de Rooij, D. Reusch, *GaN Transistors for Efficient Power Conversion*. Second Edition, Wiley, ISBN 978-1-118-84476-2.
- [2] Efficient Power Conversion Corporation, "Enhancement Mode Power Transistor," EPC2107 datasheet, Jul. 2015 [Online] Available: https://epc-co.com/epc/documents/datasheets/EPC2107_datasheet.pdf
- [3] Efficient Power Conversion Corporation, "200 V, 10 A Integrated Driver GaN FET," EPC2112 datasheet, March 2018, [Online] Available: https://epc-co.com/epc/documents/datasheets/EPC2112_datasheet.pdf
- [4] J. Falin, "Designing DC/DC converters based on SEPIC topology," Analog Applications Journal Texas Instruments, 2008, pp 18 – 23.
- [5] R. Ridley, "Analyzing the Sepic Converter," Power Systems Design Europe, November 2006, pp 14 – 18.
- [6] W. Gu, "Designing A SEPIC Converter," National Semiconductor Application Note 1484, June 2007.
- [7] LM3481 datasheet, Texas Instruments, [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3481.pdf>
- [8] D. Adar, G. Rahav and S. Ben-Yaakov, "A Unified Behavioral Average Model of SEPIC Converters with Coupled Inductors," Record of the 28th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC), June 1997, Vol. 1, pp 441-446.
- [9] J. Falin, "TPS61175 SEPIC Design," Texas Instruments Application Report, SLVA337, January 2010, [Online] Available: http://www.ti.com/lit/an/slva337_slva337.pdf
- [10] UCC27611 datasheet, Texas Instruments, [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ucc27611.pdf>
- [11] Efficient Power Conversion, "EPC2019 – Enhancement Mode Power Transistor," EPC2019 datasheet, June 2014 [Revised September 2015], [Online] Available: <https://epc-co.com/epc/Products/eGaNfETsandICs/EPC2019.aspx>

eGaN[®] ICは、Efficient Power Conversion Corporation, Inc.の登録商標です。