

# 240 W、汎用AC入力、電力密度1.1 W/cm<sup>3</sup>の eGaN® FET搭載USB PD3.1電源の設計方法



## はじめに

EPCは最近、USB PD3.1規格に準拠するGaN FETベースのUSB電源であるEPC9171[1]を製品化しました。汎用入力と48 V出力で最大240 Wを供給し、120 VAC<sub>RMS</sub>と230 VAC<sub>RMS</sub>の両方の入力、および72°Cの温度上昇（同期整流用FET周辺）で、ピーク効率92%が得られます。高電圧段には650 VのGaN FETを採用し、2次段は、チップ・サイズが合計で13.5 mm<sup>2</sup>のeGaN® FET (EPC2218) のペアで構成されています。実験結果が示すように、eGaN技術の導入によって、電力密度と効率を高くできました。

## システムの概要

このアプリケーション・ノートでは、USB PD3.1電源に適している負荷電流制限5 Aで、汎用AC電圧入力から直流15 V~48 V出力に対して、段数の少ないアプローチの設計を示します。EPR (Extended Power Range) モードでの動作をサポートするデモ・ボードEPC9171で実証します。1次側回路と2次側回路の両方で、高いスイッチング周波数で動作するGaNデバイスを採用することで1.1 W/cm<sup>3</sup>の電力密度が実現できました。

## 汎用AC入力からUSB PD3.1電源に出力するための設計

AC入力電源には、AC送電網の高調波要件を満たすためのPFC（力率改善）フロントエンドのAC-DCコンバータ、安全要件を満たすための絶縁段、および負荷要件を満たすためのポスト・レギュレータが必要です。コンバータの各段は、損失の追加となり、コンバータの全体的なサイズが大きくなります。EPC9171の設計は、図1に示すように、インタリーブ・ブースト・コンバータPFC段[2]と、それに続く絶縁型LCC共振パワー段 [3]を採用することによって、高電力密度と高効率を実現する独自のアプローチを採用しています。

インタリーブPFC段は、IEC 61000-3-2/クラスAなどのEMC（電磁両立性）規格の高調波要件を満たすために、高い力率と、ACライン電流の小さい高調波を保証します。90~265 VAC<sub>RMS</sub>の広い入力電圧範囲にわたって全電力動作をサポートします。同時に、負荷に依存するPFC位相制御によって軽負荷時の効率を最適化します。650 VのGaNパワー・スイッチと組み合わせたPFC段の電流臨界モード（CrCM: Critical Conduction Mode）動作 [4] によって、200 kHzをはるかに超える高周波動作が可能になります。電力密度の利点は、物理的寸法が小さいPFCコイルで済む高いスイッチング周波数によって得られます。

事前に安定化したPFCバス電圧で動作するLCC共振パワー段 [3] は、ガルバニック絶縁と出力の電圧／電流の安定化の両方を提供します。出力電圧範囲が制限されているよく知られたLLC共振パワー段とは異なり、このLCC共振コンバータは、スイッチング周波数の変動が制限された広い出力電圧範囲の用途に最適であり、優れた定電流特性も備えています。LCC共振コンバータは、この設計の1次高電圧回路で650 VのGaNスイッチを利用し、周波数範囲350~580 kHzで動作します。これによって、電源トランスのサイズと共振回路の他の受動部品のサイズの小型化に貢献します。定電圧（CV: constant voltage）モードで動作している場合、出力電圧は、対応するUSB PD3.1規格で指定されているように、15 V~48 Vの調整可能な電圧供給（AVS: Adjustable Voltage Supply）範囲全体で可変です。正確な電流制御を備えた定電流（CC: constant current）モードによって、出力電流が選択した電流制限（最大5 A）を超えないことが保証されます。

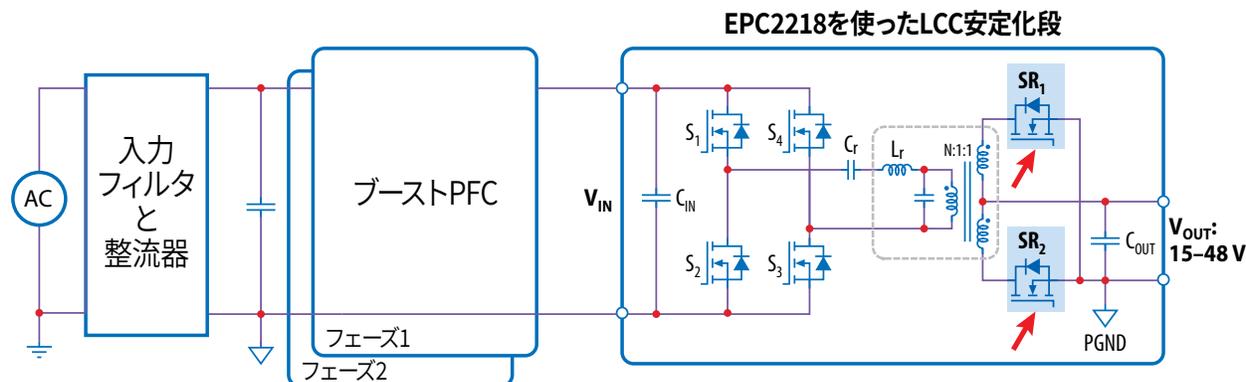


図1. EPC9171システムの回路ブロック図。

表1: 電気的特性 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) EPC9171

シンボル	パラメータ	最小値	標準値	最大値	単位
$V_{IN}$	入力電圧	90		265	$V_{AC_{RMS}}$
$V_{OUT}$	出力電圧 <sup>(1)</sup>	15		48	$V_{DC}$
$\Delta V_{OUT}$	出力電圧のリプル		100		mV
$I_{OUT}$	出力電流 <sup>(1)</sup>			5	A
$f_s$	スイッチング周波数	350		580	kHz
PF	力率(120 VAC/60 Hz)		0.991		
THD	THD [%] (120 VAC/60 Hz)		12.7		%

(1) 可変調整可能

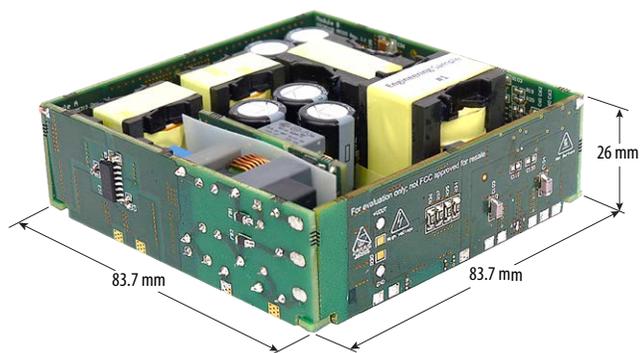


図2. 240 WのUSB-C充電器デモ・ボードEPC9171。

LCCコンバータの一部として、同期整流器段は、2次側に定格100 V、オン抵抗3.2 mΩのGaNスイッチEPC2218[5]のペアを採用しています。このGaNスイッチは、出力の電圧と電流の範囲全体にわたる損失を最小限に抑えるための高速同期整流器コントローラによって駆動され、シンプルでありながら効果的な熱設計を可能にします。

USB PD3.1電源の仕様が表1です。

### 実験による検証

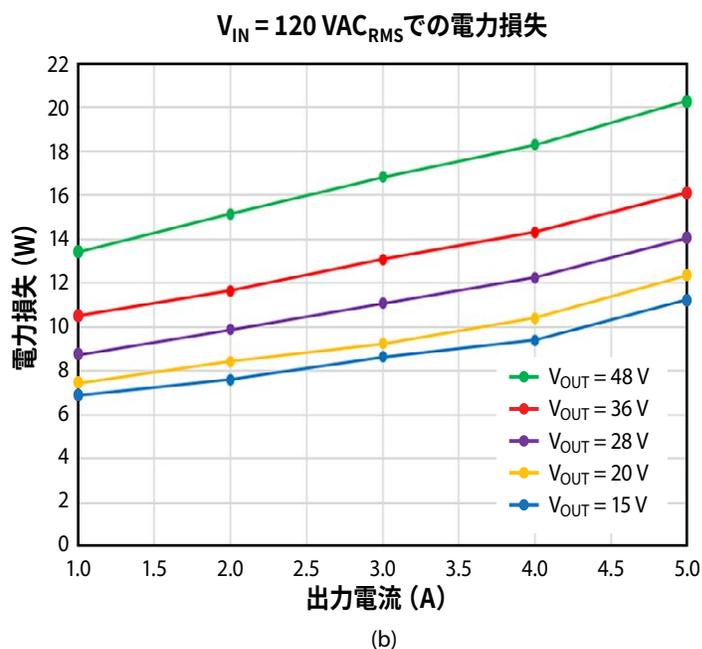
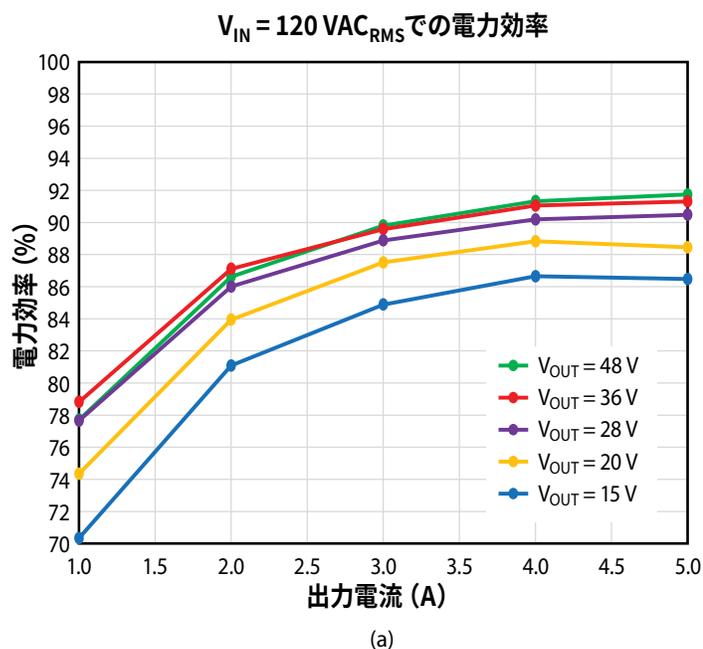
EPC9171は、図2のように設計、構築し、さまざまな入力電圧や負荷条件での効率、電力損失、AC高調波測定などのさまざまなテストを実施しました。

### 測定した効率と電力損失

図3と4は、電力効率を15 V、20 V、28 V、36 V、48 Vの出力電圧、および、それぞれ120 VAC<sub>RMS</sub>と230 VAC<sub>RMS</sub>の入力電圧で、1~5 Aの出力電流範囲で測定しました。入力電力は、ACパワー・アナライザで測定し、DC出力パラメータは高精度デジタル・マルチメータで記録しました。

### AC特性

ACライン・パラメータは、ACパワー・アナライザを使って、48 V/5 Aおよび48 V/ 2.5 Aの負荷、および、それぞれ120 VAC<sub>RMS</sub>と230 VAC<sub>RMS</sub>の入力電圧で測定しました。ライン高調波を評価し、図5のIEC 61000-3-2/クラスAのライン高調波の電流制限と比較しました。全電力負荷測定のみが示されています。

図3.  $V_{IN} = 120 \text{ VAC}_{RMS}$ でのさまざまな出力電圧の標準的な効率 (a) と電力損失 (b)。

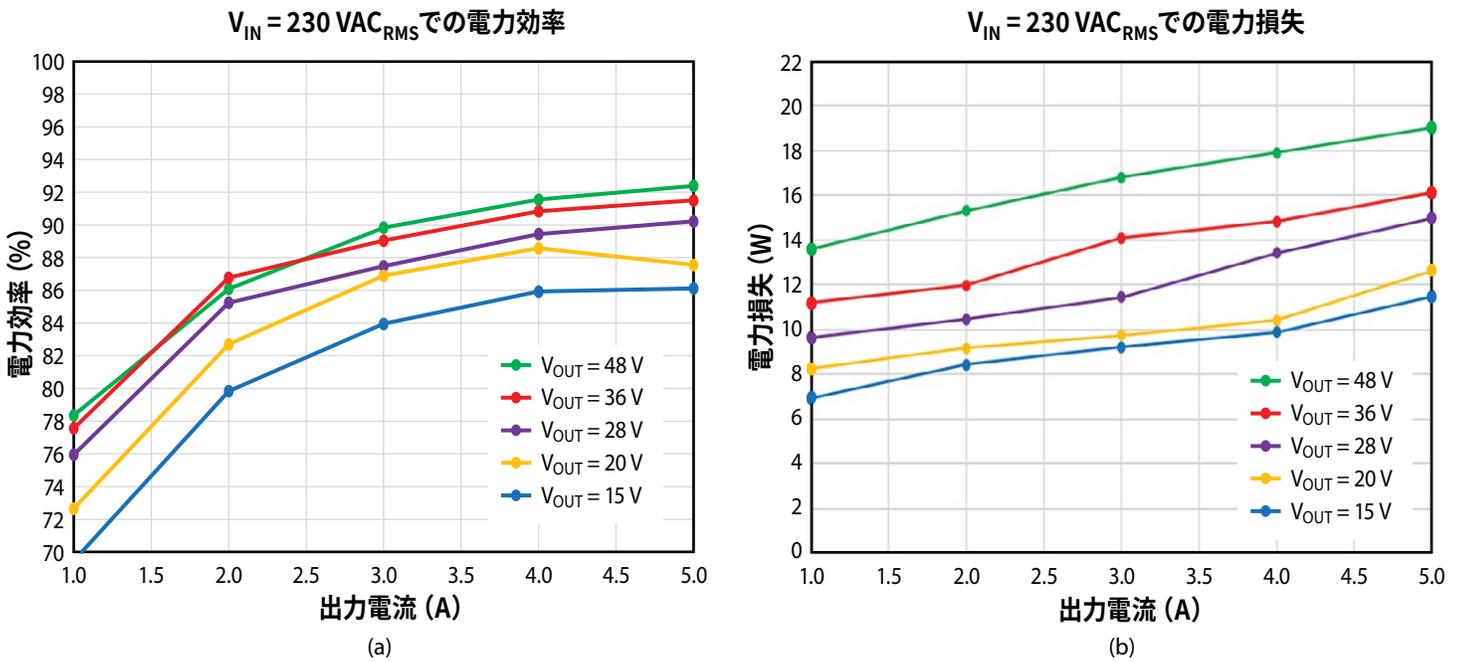
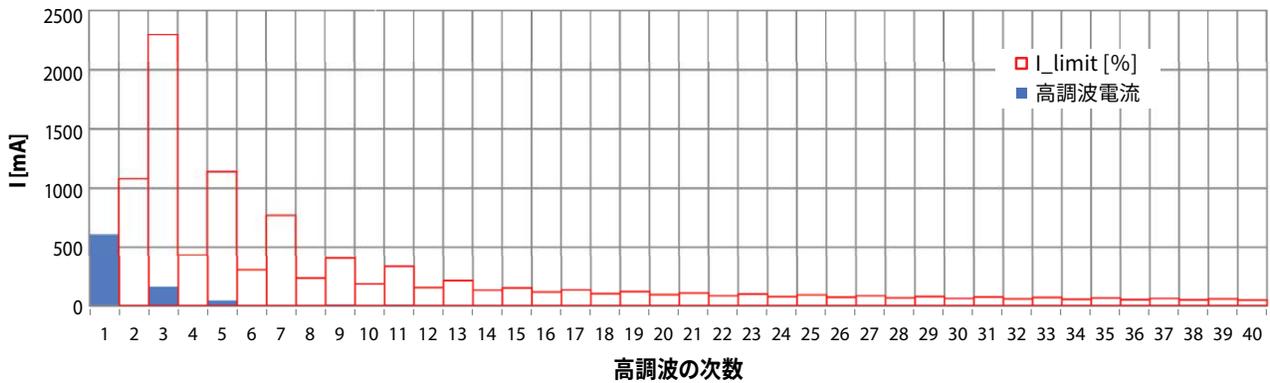


図4. V<sub>IN</sub> = 230 VAC<sub>RMS</sub>でのさまざまな出力電圧の標準的な効率 (a) と電力損失 (b)。

(a) V<sub>IN</sub> = 120 VAC<sub>RMS</sub>/60Hz/P<sub>OUT</sub> = 240 W、48 V/5000 mAでの高調波電流



(b) V<sub>IN</sub> = 230 VAC<sub>RMS</sub>/50 Hz/P<sub>OUT</sub> = 240 W、48 V/5000 mAでの高調波電流

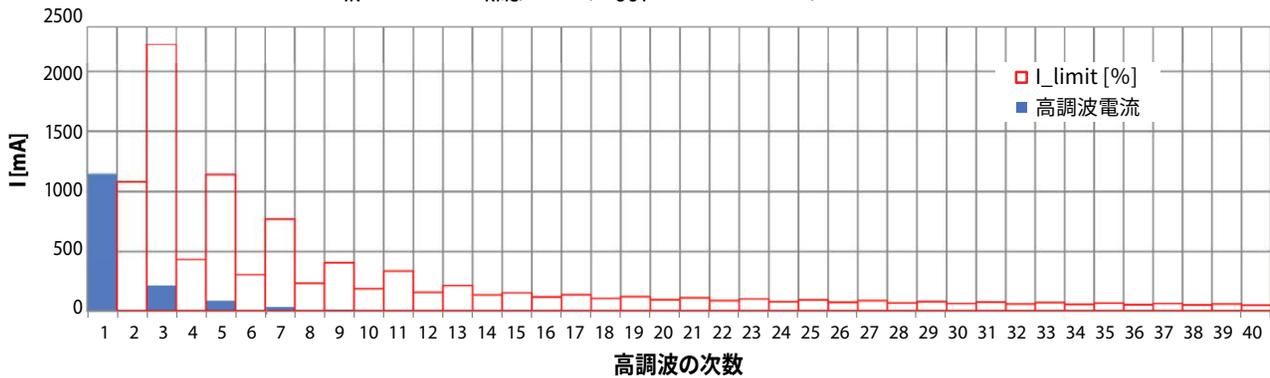
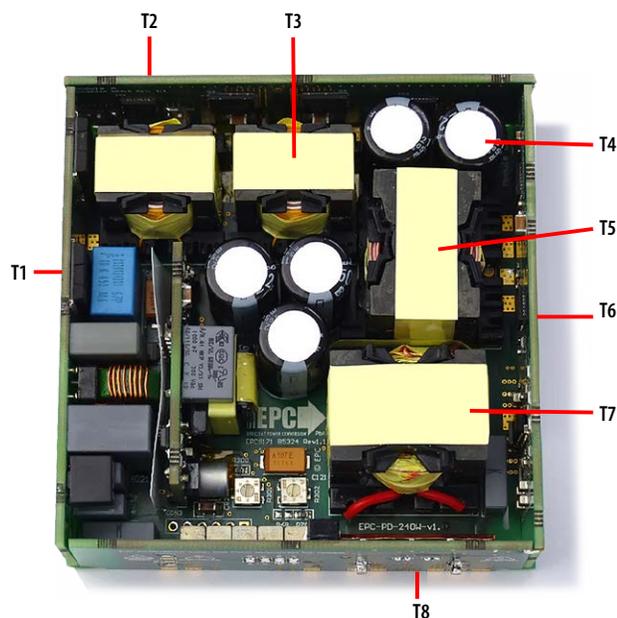


図5. (a) 測定した高調波電流。V<sub>IN</sub> = 120 VAC<sub>RMS</sub>/60Hzのとき。 (b) 測定した高調波電流。V<sub>IN</sub> = 230 VAC<sub>RMS</sub>/50Hzのとき。



入力: 230 VAC/50Hzまたは120 VAC/60 Hz

出力: 48 V/5 A

テスト間隔: 10分

周囲温度 $T_{amb}$ : 21°C

注: DUTは20 mmの距離ホルダーに配置し、その下の空気の流れを確保します

場所	概要	最高温度	最高温度
		120 VAC/60 Hz	230 VAC/50 Hz
T1	入力アクティブ整流器	68°C	51°C
T2	PFCスイッチ (IC1)	75°C	77°C
T3	PFCコイル (L5)	81°C	65°C
T4	PFCバス・コンデンサ (C99)	73°C	72°C
T5	LCC共振コイル (L2)	94°C	95°C
T6	LCCスイッチ (IC6)	93°C	94°C
T7	トランス (T1)	97°C	96°C
T8	出力同期整流器 (Q5/Q6)	89°C	90°C

図6. 120 VAC<sub>RMS</sub>および230 VAC<sub>RMS</sub>入力で動作させ、周囲温度21°Cで5 Aを48 Vに供給した場合の熱特性。

## 熱特性

プリント回路基板の下部からの赤外線 (IR) カメラの温度測定を図6に示します。

## 結論

48 Vは、コンピューティングのデータセンターや、今ではラップトップなどの民生用電子機器での採用が拡大しています。新しいUSB PD3.1[6]規格は、USB電圧が48 Vに上昇し、コネクタとケーブルの電流制限が5 Aの場合、全電力供給が最大240 Wに増加するので、ラップトップにも浸透しています。新しいUSB PD規格を採用する互換性のある電源も、高電力密度の必要性を推進する小さな形状のソリューションを生み出したいという圧力の高まりに直面しています。GaN FETの高速スイッチングと低オン抵抗 $R_{DS(on)}$ は、電源を構成する複数の回路におけるこの課題[7]に対処します。

## 参考文献

- [1] EPC9171のクイック・スタート・ガイド [オンライン] は、このURLで入手可能: <https://epc-co.com/epc/jp/製品/デモ・ボード/EPC9171.aspx> [2022年3月7日アクセス]。
- [2] O'Loughlin, M. (2006, March 30). Advantages of interleaved boost converters for PFC. EDN. Retrieved March 4, 2022, from <https://www.edn.com/advantages-of-interleaved-boost-converters-for-pfc/>
- [3] Survey of resonant converter topologies - ti.com. (n.d.). Retrieved March 4, 2022, from <https://www.ti.com/seclit/ml/slup376/slup376.pdf>
- [4] NV6128 datasheet. Navitassemi.com. 2022. [online] Available at: [https://www.navitassemi.com/wp-content/uploads/2020/07/NV6128\\_Datasheet\\_Final-12-29-2020.pdf](https://www.navitassemi.com/wp-content/uploads/2020/07/NV6128_Datasheet_Final-12-29-2020.pdf) [Accessed 4 March 2022].
- [5] EPC2218のデータシート [オンライン] は、このURLで入手可能: <https://epc-co.com/epc/jp/製品/eGaNfETとIC/EPC2218.aspx> [2022年2月28日アクセス]。
- [6] Usb.org. 2022. USB Power Delivery | USB-IF. [online] Available at: <https://usb.org/document-library/usb-power-delivery> [Accessed 21 February 2022].
- [7] A. Lidow, M. De Rooij, J. Strydom, D. Reusch, and J. Glaser, *GaN Transistors for Efficient Power Conversion*, 第3版. John Wiley & Sons, 2019. ISBN: 978-1119594147.

詳細については、

[Info@epc-co.com](mailto: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](https://bit.ly/EPCupdates) に登録、または22828に「EPC」とテキストすれば、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