

200 VのeGaN® FETを使った高効率、2.5 kW、 汎用入力電圧範囲、力率補正 (PFC) 付 きの400 Vの整流器設計方法



謝辞: このアプリケーション・ノートおよび関連するハードウェアは、米テキサス大学オースティン校の半導体パワー・エレクトロニクス・センター (SPEC) と共同で開発しました。

動機

クラウド・コンピューティング、ウェアラブル、機械学習、自動運転、あらゆるモノがネットにつながるIoTなどのアプリケーションの拡大が、データ集約型の世界に向かう強い追い風になり、データセンターと消費電力に対する需要が増加しています [1,2]。交流から直流へのスイッチング電源の効率、電力密度、コストの重要性は、eGaN FETが解決できる革新的なソリューションを推進しており、超高効率力率補正 (PFC) フロントエンドの整流器ソリューションを生み出しています。このハウツー・アプリケーション・ノートでは、ここに焦点を当てています。

4レベルのフライング・キャパシタ形マルチレベル (FCML) のトータムポール・ブリッジレスPFCコンバータ

従来の2レベルのトータムポール・ブリッジレスPFC構成は、定格650 VのGaNFETを使って高効率化を実現するための一般的な選択肢でしたが、主コイルの電力密度と損失制限に対応していません [3]~[5]。4レベルのフライング・キャパシタ形マルチレベル (FCML: flying capacitor multi-level) ・トータムポール・ブリッジレスPFC構成は、200 VのeGaN FETを利用できる代替手段であり、送電網の最大電圧274 V_{ACRMS}で動作し、コイルのボルト秒の低減と周波数逡倍によって、電力密度が大幅に向上し、高効率ソリューションが得られます。FCMLトータムポール・ブリッジレスPFC整流器の電源回路図を図1に示します。4レベルFCMLトータムポール・ブリッジレスPFC整流器構成のさらなる利点は、低インダクタンスが必要なため、入力電流の高調波歪みを最小限に抑えられることです。最も高いピーク・ライン電圧でも、スイッチングを維持できます。

4レベルのFCMLトータムポールPFCコンバータ向けの定格200 VのEPC2215

マルチレベル構成を使う多くの利点の1つは、低電圧デバイスを使用することです。この4レベル構成では、6個のカスケード接続された高周波デバイス ($Q_1 \sim Q_6$) が図1に示す高周波レグで使われています。出力直流電圧は400 Vに設定されているため、各高周波デバイスへの印加電圧はわずか133 Vで、マージンを加えて、200 Vデバイスがこの構成に十分適していることが保証されます。図2に示すオン抵抗 $R_{DS(on)}$ が8 m Ω で定格200 VのeGaN FETであるEPC2215は、従来のシリコン・デバイスと比べて、低スイッチング損失、低駆動消費電力、およびゼロ逆回復が得られ、高効率ソリューションを実現できます。

図3は、EPC2215と、特性がこれに非常に近い同等のMOSFETとの大きさの比較です。MOSFETは、15倍大きく、6.5倍以上のゲート電力を消費します。加えて、MOSFETは、出力容量が大きいため、GaNFETと比べてスイッチング損失も増加します。

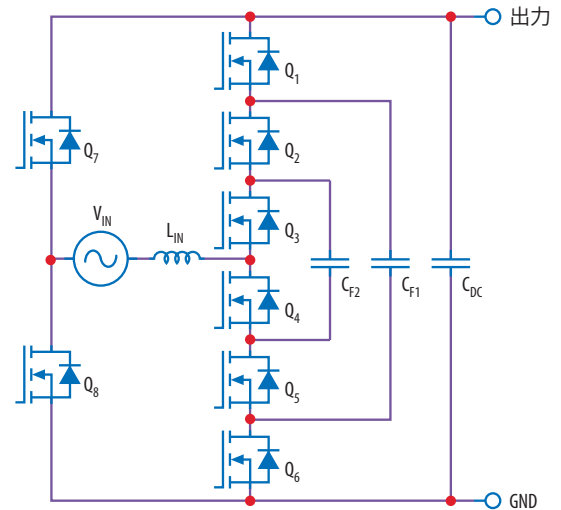


図1. 4レベルのフライング・キャパシタ形マルチレベルeGaN FETトータムポールPFC整流器の回路図。

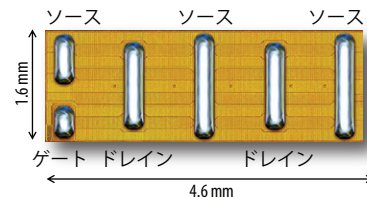
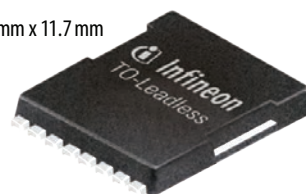


図2. 定格200 V、オン抵抗8 m Ω のEPC2215のパンプ側の写真。

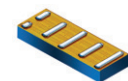
9.9 mm x 11.7 mm



IPT111N20NFD

$R_{DS(on)} = 11.1 \text{ m}\Omega$
 $Q_{OSS} = 162 \text{ nC}$
 $Q_G (V_G = 10 \text{ Vのとき}) = 65 \text{ nC}$
 $V_{Gmin} = 7 \text{ V}$

1.6 mm x 4.6 mm



EPC2215

$R_{DS(on)} = 8 \text{ m}\Omega$
 $Q_{OSS} = 69 \text{ nC}$
 $Q_G (V_G = 5 \text{ Vのとき}) = 13.6 \text{ nC}$
 $V_{Gnom} = 5 \text{ V}$

図3. EPC2215とそれに近い特性の同等のMOSFETとのデバイス・サイズの比較。いずれも定格200 V。

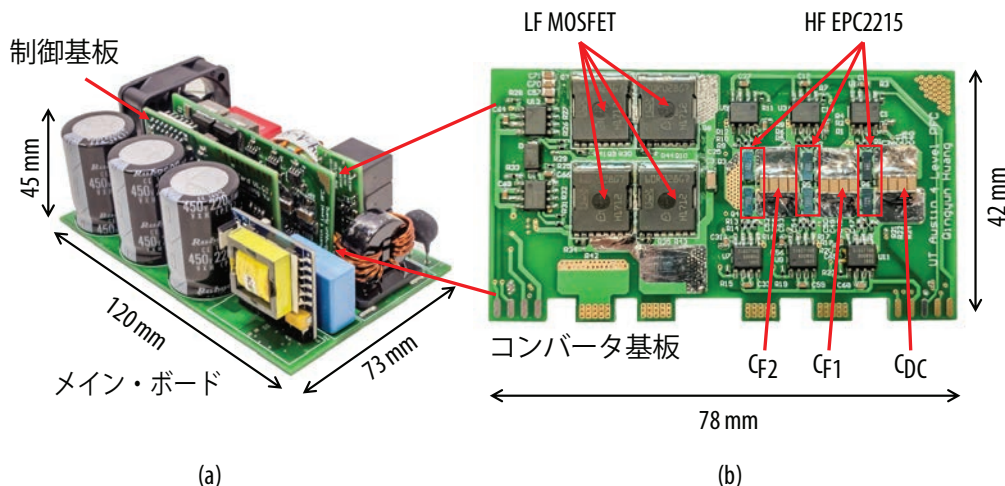


図4. (a) 完全なPFC整流器と(b) FCMLブリッジレス・トータムポール・コンバータ基板の写真。

実験による検証

2.5 kW、4レベルのフライング・キャパシタ形マルチレベル (FCML) GaN FETトータムポールPFCコンバータを構成しました (図4) [7]。実験ユニットは、複数の基板で構成されています。すなわち、1) EMI (電磁干渉) フィルタ、ハウスキープ電源、バルク出力容量を備えたメイン・ボード、2) 制御基板、3) GaN FETのフライング・キャパシタ形マルチレベル・コンバータ基板です。

図5は、このコンバータが入力電圧 $240 V_{ACRMS}$ で動作し、 $400 V_{DC}$ の負荷に $2.5 kW$ を供給しているときの、測定された入力交流電圧、適切に制御されたコイル電流、およびマルチレベルのスイッチ・ノード波形です。

4レベルのFCMLトータムポールGaN FET PFCの最大 $2.5 kW$ までの全体の電力効率を図6に示します。ピーク効率は $1.4 kW$ で 99.25% 、 $900 W$ 以上では 99% を超えています。

結論

データセンターの用途に適した高効率、高電力密度、 $2.5 kW$ のeGaN FETベースの4レベル・フライング・キャパシタ形マルチレベル・ブリッジレス・トータムポール整流器を紹介しました。定格 $200 V$ 、 $8 m\Omega$ のEPC2215を高周波レグで使うと、 $900 W$ から $2.5 kW$ で効率 99% を超え、 $1.4 kW$ でピーク効率 99.25% が得られるコンバータを実現できました。完全なコンバータ・ソリューションの電力密度は、わずか $125 W / 立方インチ$ です。これには、EMIフィルタ、バルク出力コンデンサ、制御基板、ハウスキープ電源が含まれています。eGaN FET [6] の優れた特性によって、このコンバータは、高電力密度、超高効率、低高調波歪みを実現しています。

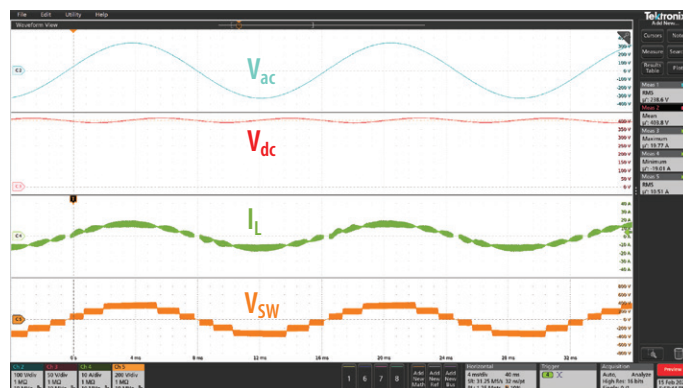


図5. $2400 W$ を $400 V_{DC}$ の負荷に供給したときのコイル電流 (I_L)、交流入力電圧 (V_{AC})、およびスイッチ・ノード電圧 (V_{SW}) の測定波形。

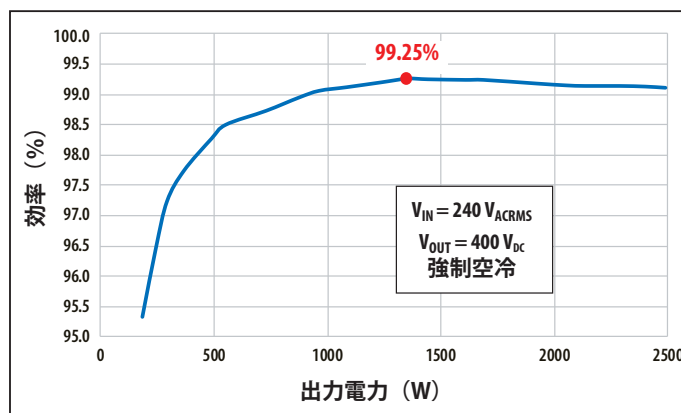


図6. 4レベルのFCMLトータムポールGaN FET PFCコンバータの電力効率。

参考文献

- [1] A. Marashi, "Power Hungry: The Growing Energy Demands of Data Centers," VXchange, June 28th, 2019, [On-line available, accessed Oct. 24, 2019] <https://www.vxchnge.com/blog/power-hungry-the-growing-energy-demands-of-data-centers>
- [2] F. C. Lee, Q. Li, Z. Liu, Y. Yang, C. Fei and M. Mu, "Application of GaN devices for 1 kW server power supply with integrated magnetics," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 1, no. 1, pp. 3-12, Dec. 2016.
- [3] Z. Liu, F. C. Lee, Q. Li and Y. Yang, "Design of GaN-Based MHz Totem-pole PFC Rectifier," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, no. 3, pp. 799-807, Sept. 2016.
- [4] L. Zhou, Y. Wu, J. Honea and Z. Wang, "High-efficiency True Bridgeless Totem Pole PFC based on GaN HEMT: Design Challenges and Cost-effective Solution," Proceedings of PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2015, pp. 1-8.
- [5] Z. Liu, Z. Huang, F. C. Lee and Q. Li, "Digital-Based Interleaving Control for GaN-Based MHz CRM Totem-pole PFC," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 4, no. 3, pp. 808-814, Sept. 2016.
- [6] A. Lidow, M. de Rooij, J. Strydom, D. Reusch, J. Glaser, "GaN Transistors for Efficient Power Conversion," 3rd Edition, J. Wiley 2020, ISBN 978-1-119-59414-7. Available from <https://epc-co.com/epc/Products/Publications/GaNTransistorsForEfficientPowerConversion.aspx>
- [7] Q. Huang, Q. Ma, P. Liu, A.Q. Huang, and M. Rooij, "3kW Four-Level Flying Capacitor Totem-Pole Bridgeless PFC Rectifier with 200V GaN Devices," in ECCE 2019.



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