



ON Semiconductor®

**クワッドMOSFETアプローチで
ダイオードブリッジより
PoE効率を大幅に改善**



ON Semiconductor®

クワッドMOSFETアプローチで ダイオードブリッジより PoE効率を大幅に改善

ワイヤレス接続には多くの大きなメリットがあるとはいえ、まだ有線ネットワーク接続を完全に置き換えるまでには至っていません。有線接続には、信頼性、セキュリティ、ネットワーク自体を介して電力を伝送する機能など、まだ多くの優位性があります。「パワーオーバーイーサネット(Power over Ethernet: PoE)」により、例えば機器用に個別の電源ケーブルを敷設する必要がなくなるため、遠隔から電力供給を受ける機器とのネットワークの確立に必要な配線量を削減できます。

PoEを導入すると、新設か増設/アップグレードかにかかわらず、以下のような多くの利点があります。

- **時間とコストの削減** – 電源ケーブルが不要のため、コストを削減し設置時間を短縮できます。幹線接続に関する規制が適用されず、有資格電気技術者が不要のため設置も簡単になります。
- **柔軟性** – もはや電源への距離を考慮する必要はなく、LANケーブルを敷設できる場所ならどこにでも機器を設置できます。
- **信頼性** – 集中型電源が低価格の電源アダプタに取って代わり、1台の無停電電源装置でシステムをバックアップできます。

PoEネットワーク

PoEネットワークの構成にはいくつかの方法があります。ネットワークの規模、PoEをアップグレードとして追加するか、全く新しい導入として追加するのかなど、さまざまな要因によって推奨方法が決まります。

PoEスイッチは、PoE機能を内蔵した標準的なネットワークスイッチです。ネットワーク機器がこのスイッチに接続されると、接続機器がPoE準拠かどうかを検出し、自動的に電源供給を行います。ミッドスパン(またはPoEインジェクタ)を使うことによって、既存のネットワークにPoE機能を追加したり、必要なPoEポートが少ない多用途ソリューションを提供することができます。PoEが必要な各ネットワーク接続はミッドスパンを通じて接続され、PoEスイッチと同様に、電力供給は制御され自動的に行われます。

PoE規格802.3afは、13 Wまでの電力レベルを必要とするネットワーク機器向けに策定されました。さらに高機能の機器にはより多くの電力が必要になるため、IEEEにより25.5 Wまでの電力に対応する802.3at (またはPoE Plus)が導入されました。802.3atは、802.3af規格と併存しており、802.3afを置き換えるものではありません。実際、802.3afはしばらくの間、PoE機器の大半で引き続き使用されるでしょう。PoE Plusが802.3afと下位互換性があるのはそのためで、より高電力の機器は古い規格で動作する場合には使用電力を制限します。PoE Plusは、機器が通信により所要電力をネゴシエートできるスマート電力割り当て機能も導入しています。

しかし、ネットワークがより大規模になり接続機器が増加して複雑になるにつれて、電力要件が高まります。例えば、新世代のIoT機器では25.5 W以上が必要になる可能性が高いといえます。エネルギーコストの上昇、かつてないほどの小型ソリューションに対する需要、複数規格への準拠、制限された予算への対応などを考えると、設計者にとって多くの課題が生じます。これらはコンパクトなスペースで高効率と低発熱で動作するこれまで以上に進歩した電力変換用半導体を使用しなければ解決できない課題です。

PoEアプリケーションにおける受電側機器(PD)には、PDに電力を供給する給電側機器(PSE)に無停電電源装置(UPS)が装備されている場合、入力電力極性を制御するブリッジ回路が必要です。単純なダイオードブリッジ設計が、これに対する最も一般的なアプローチであり、信頼性の高い低コストソリューションを提供してきました。しかし、PDがより多くの電力を必要とするのに伴い、順方向電圧降下で生じるダイオードブリッジの導通損失は、効果的に解決すべき主要問題の1つになります。オン・セミコンダクターのGreenBridge™ソリューションは、ブリッジ回路での電力損失を低減し、高効率で費用対効果の高いPoEシステムを提供することによりこの問題に対処する目的で開発されました。

GreenBridgeの導入

従来のダイオードブリッジの導通損失と効率を改善するために、オン・セミコンダクターは、GreenBridgeファミリを開発しました。このデバイスの第1世代は、Figure 1に示すように、デュアルPチャンネルおよびデュアルNチャンネルMOSFETを小型で熱的に強化された表面実装パッケージに集積しました。このデバイスの仕様をTable 1に示します。

Table 1. PERFORMANCE PARAMETERS FOR THE FDMQ8203 GreenBridge QUAD MOSFET

Column Head	MOSFET	BV _{DSS} (V)	R _{DS(ON)} (mΩ)	Q _g (nC)	Θ _{JA} (°C/W)
			Max.	Typ.	
FDMQ8203	Q1, Q4	100	110	2.9	50
	Q2, Q3	-80	190	13	

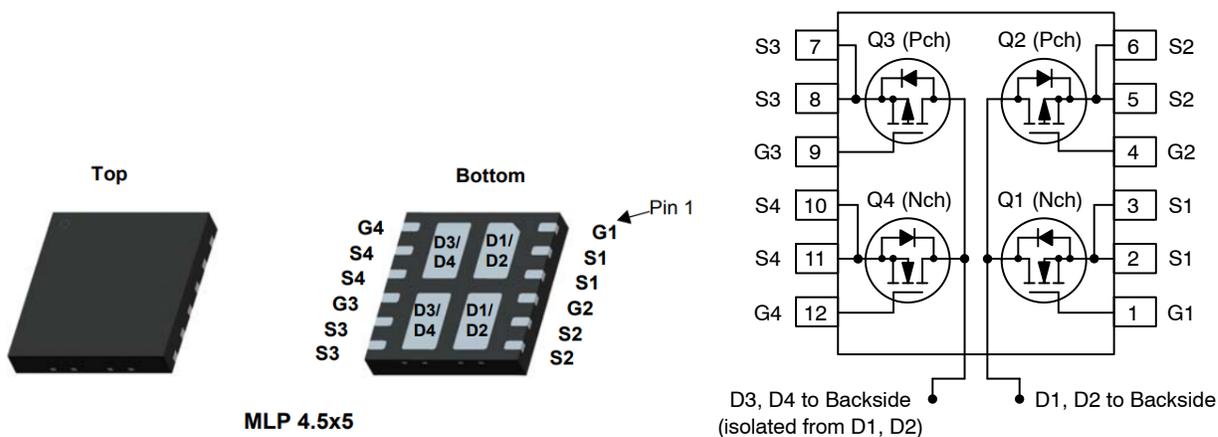


Figure 1. Internal Configuration and Pin Assignment

GreenBridgeソリューションの高性能MOSFETは、PDに組み込まれている従来型ブリッジ内のダイオードに代わるものです。これはPSEからの電力極性を制御しており、スイッチングアプリケーションではないため、電力損失はすべて導通損失でMOSFETの $R_{DS(ON)}$ の値に正比例します。

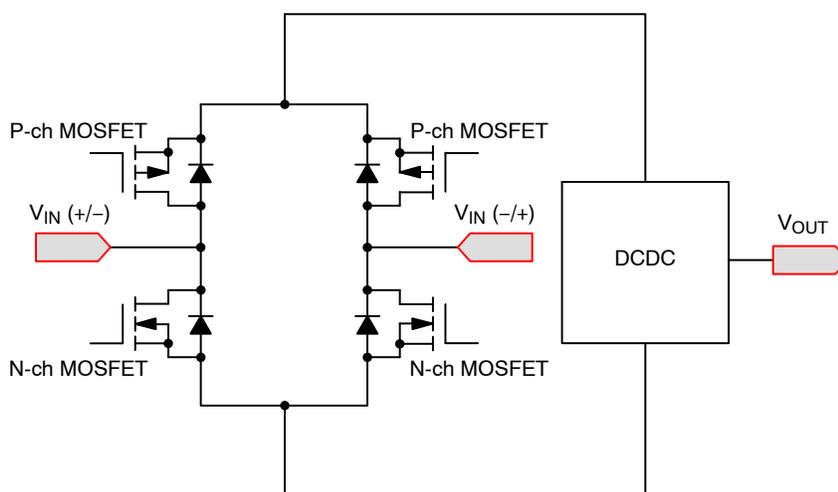


Figure 2. GreenBridge Solution Showing Bridge Formed from MOSFETs

入力電圧(V_{IN})が印加されると、電流がブリッジの一方の分岐を流れます。これはダイオードブリッジの場合と同じですが、MOSFETの損失がダイオードの V_F に関する損失よりも低いため、導通損失は低くなる点が異なります。

従来型ダイオードブリッジの電力損失は次式で与えられます。

$$2 \times V_F \times I \quad (\text{eq. 1})$$

一方、MOSFETベースソリューションの電力損失は次式で与えられます。

$$I^2 \times R_{DS(ON) \text{ P-Channel}} + I^2 \times R_{DS(ON) \text{ N-Channel}} \quad (\text{eq. 2})$$

GreenBridgeソリューションFDMQ8203ベース設計の完了に必要なことは、Figure 3に示すように、MOSFETを駆動し保護する回路を追加することだけです。赤色の線は電力が流れる経路を示し、緑色の線はゲート回路のバイアス電流を表しています。ツェナーダイオードは、 BV_{GSS} を超えないようにGreenBridgeデバイスのゲート-ソース間電圧を制限するために使用されます。

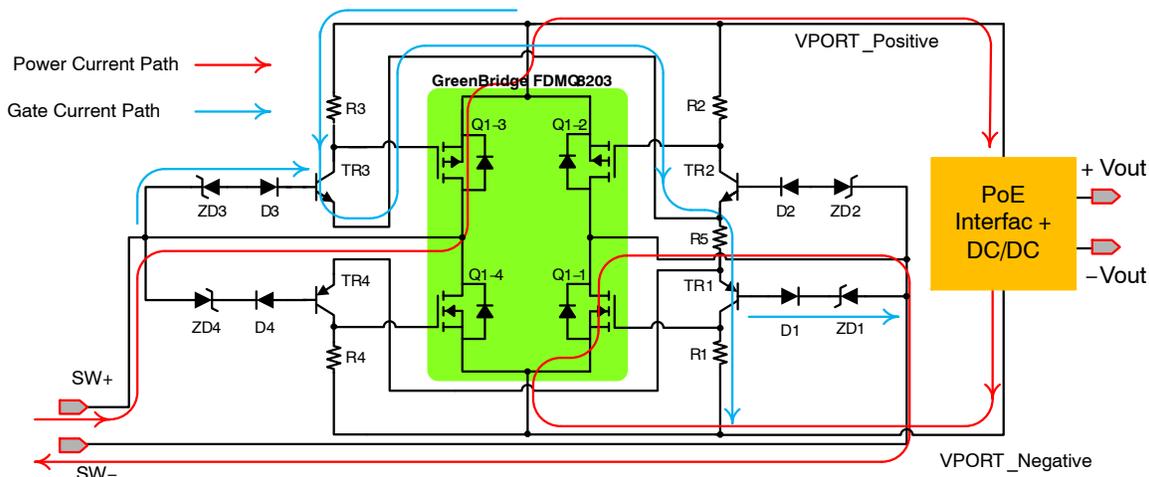


Figure 3. Solution Based on GreenBridge FDMQ8203 and External Drive/Protection Circuitry

PDがPSEに接続されると、PSEはPDの25 k Ω (± 1.3 k Ω)の抵抗を流れる電流を確認することによりPDの存在を認識します。これはPoE規格に記載されている抵抗検出プロセスです。

PSEは、抵抗検出のために連続して2つの電圧($V1 = 2.7$ Vおよび $V2 = 10.1$ V)をPDに印加し、測定された電流値 $I1$ と $I2$ を記録します。PSEによって $\Delta V/\Delta I$ が計算され、PDの存在を確定します。PSEは次にPDの電力クラスの識別に進みます。これは「分類」フェーズとも呼ばれ、Figure 4に示しています。

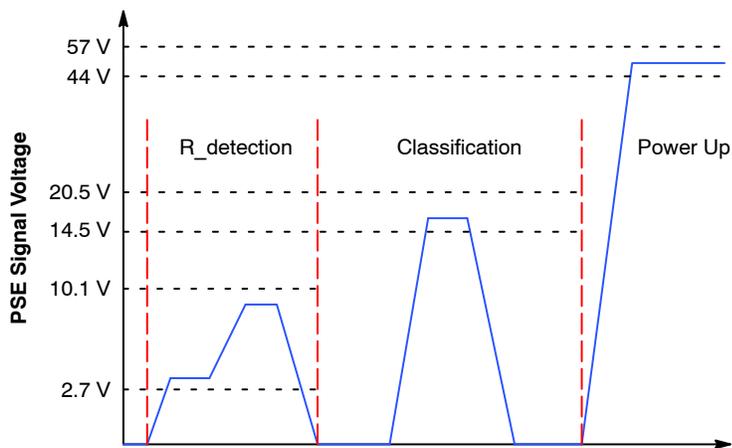


Figure 4. Waveforms during the Startup Phase

このフェーズでは、GreenBridgeデバイスは、ボディダイオードを流れる電流をバイパスすることによって抵抗検出手順を損なわないようにしなければなりません。推奨ゲート駆動回路を使用すれば、PSEから2.7 Vと10.1 Vが印加されたときにボディダイオードを通じて電流がバイパスされるため、GreenBridgeデバイスをオフ状態に維持するのに役立ちます。

GreenBridgeデバイスのMOSFETの最大スレッショルド電圧は4 Vのため、安全なゲート駆動回路がないと、抵抗検出中にPSEにより印加された10.1 Vの入力時にGreenBridgeデバイスがターンオンしてしまう可能性があります。これにより、抵抗検出プロセスが失敗することもあります。

従来型ショットキーダイオードブリッジに対する性能上のメリットを実証するために、25 WのPDブロックをFigure 5に示す仕様を満たすように設計しました。

PoE Class	Class 4
IEEE Standard	IEEE802.3at
DCDC Topology	Flyback
Input Voltage	36 V ~ 57 V
Output Voltage	5 V
Maximum Output Current	5 A
Output Power	25 W
Switching Frequency	250 kHz

Figure 5. Specification for PD Used for Comparison Testing

最大出力電力25 W、最小入力電圧36 Vのとき、ブリッジを流れる推定入力電流は0.7 Aであり、これはGreenBridgeとダイオードのどちらのソリューションでも同じです。

前述の式に基づくと、ダイオードソリューションの電力損失($V_F = 0.7$ V)は0.98 Wです。GreenBridge ($R_{DS(ON)}$ P-Channel = 190 m Ω , $R_{DS(ON)}$ N-Channel = 110 m Ω)ソリューションの対応する損失は0.147 Wです。これは電力損失においては0.83 Wの改善、最大電力および最小入力電圧でのブリッジ効率においては2.41%の改善に相当します。

Figure 6は両ソリューションの電力ロスと効率の比較であり、GreenBridgeソリューションでは、最小から最大電力まで性能が向上していることを示しています。

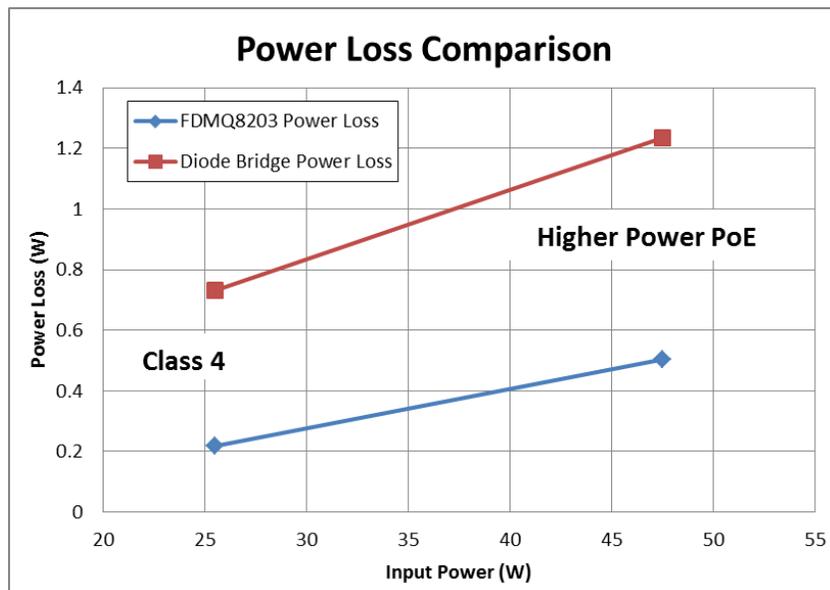


Figure 6. Power Loss and Efficiency Comparison of the GreenBridge and Diode Solutions

GreenBridgeソリューション(ゲート回路を含む)は、ダイオードブリッジのおよそ半分の大きさであるにもかかわらず、MLP 4.5 × 5 mmパッケージは熱インピーダンスが低いいため、表面温度は低くなります。V_{IN} = 36 Vと周囲温度25°Cでテストした場合、GreenBridgeのパッケージの表面温度は45°Cで、ダイオードブリッジのパッケージよりも約8.4°C低くなりました。

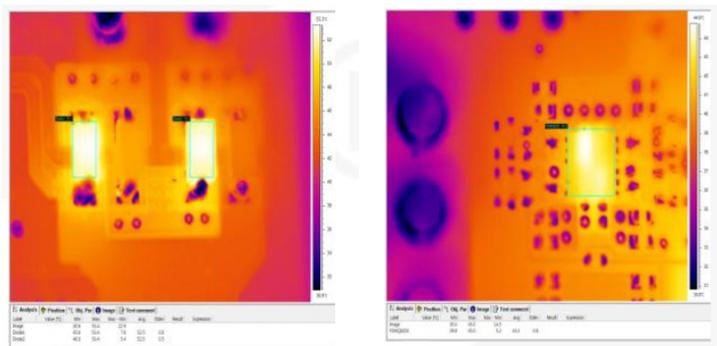


Figure 7. Thermal Analysis of the GreenBridge Package (Left) and Diode Package (Right)

このテスト結果をまとめると、GreenBridgeソリューションにより、同等ダイオードブリッジのプリント基板面積の約半分しか占有しないソリューションで、電力損失の低減、効率の向上、動作温度の低下を実現できます。

GreenBridgeの第2世代

最初は、80 Vバージョンで発売された第2世代のGreenBridge II高効率ブリッジ整流器は、現在100 V定格で利用可能です。GreenBridge II FDMQ8205Aのブロック図をFigure 8に示します。この図から、このデバイスは2個のNチャンネルと2個のPチャンネルの100 V-定格MOSFETと、必要なすべてのゲートドライバから構成されていることがわかります。その結果、第1世代と同じ小型のMLP 4.5 × 5パッケージで供給されるデバイスでありながら、駆動や保護のための外部回路は不要です。

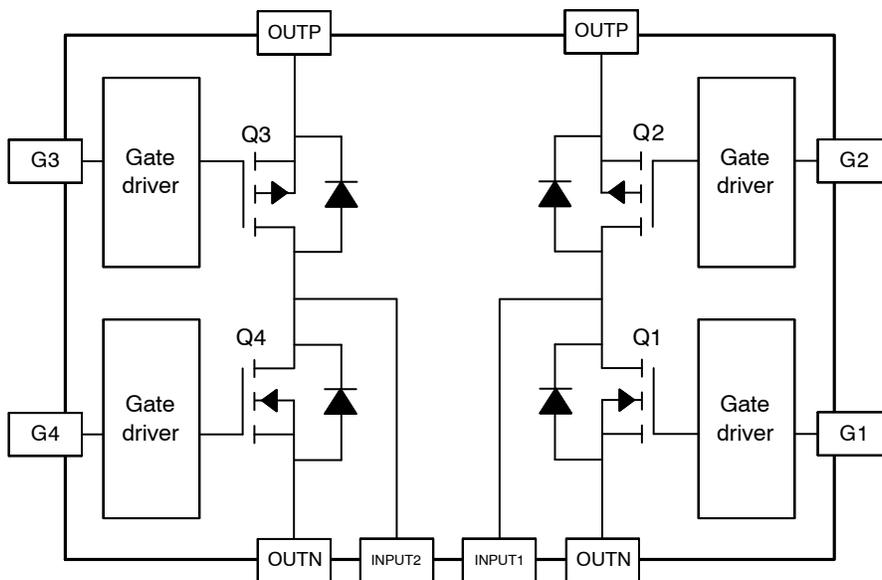


Figure 8. Block Diagram of GreenBridge 2 FDMQ8205A

従来型ショットキーブリッジと比較し、導通損失が改善され優れた効率を達成しているため、GreenBridgeソリューションはすべて最大10倍良好な電力損失を実現します。

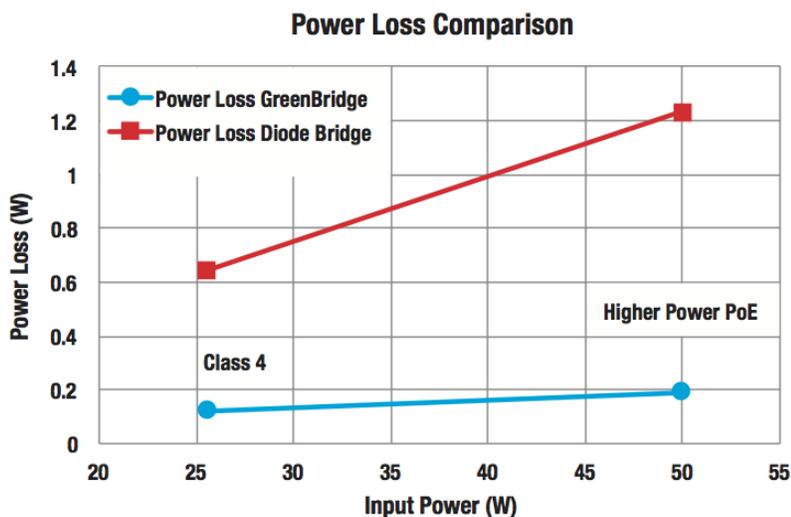


Figure 9. GreenBridge II Shows Improved Power Loss across All Power Levels

GreenBridge IIではプリント基板面積をさらに改善でき、ダイオードソリューション (Figure 10)の192 mm²に比べ、わずか45 mm²しか必要としません。

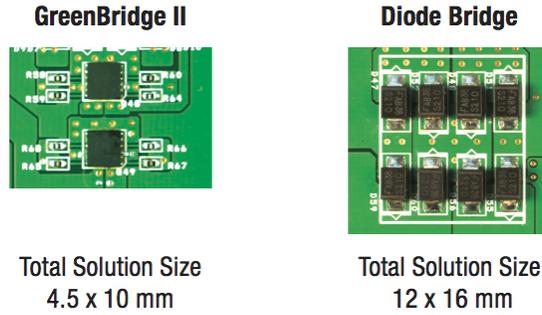


Figure 10. GreenBridge II Requires Less than 25% of the Space for a Conventional Diode Solution

同時に、GreenBridge IIは第1世代に対して熱性能の改善を達成しており、熱画像テストの結果では、25.5 Wでトップケースの温度が29.9°Cに低下しています(15°C以上の低下)。これによって設計に余裕が生まれ、より高い電力密度を容易に実現できるようになります。

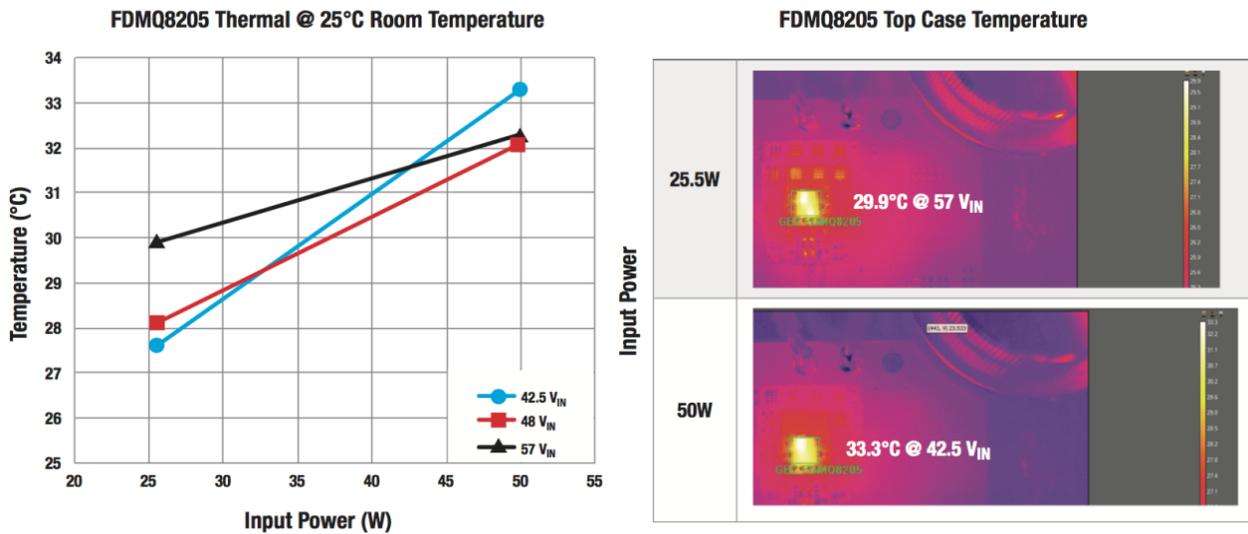


Figure 11. GreenBridge II Shows Improved Thermal Performance in Testing

GreenBridgeによる新しいIEEE802.3btへの対応方法

PoE規格IEEE802.3af/atには、既存のクラスが4つあり、PDにネットワークケーブルの2ペア給電で最大25.5 Wの電力を供給します。IEEE802.3btとして新しく登場したPoE規格では4ペア給電を導入し、両方のペアセットを利用して同時に電力を供給できます。これは4つの新しいクラスで拡張され、タイプ3のPDには最大51 W、タイプ4のPDには最大71.3 Wまで電力レベルを上げています。4ペア給電は、シングルシグネチャまたはデュアルシグネチャによる4ペア給電PoEによって構成できます。シングルシグネチャの4ペアは、Figure 12に示すように、PSEが4ペア給電であることを除いて、PDのアーキテクチャは2ペアと同じです。シングルシグネチャのPDは、両ペアセットの一方に有効な検出シグネチャを提供し、接続機器がPoEを利用可能なことを知らせます。検出が終わると、PDはPSEによって分類されます。PD分類の目的は、PDが動作中に消費する電力量を知らせることであり、PSEとPD間の相互識別にも使用されます。新しい規格では、タイプ3およびタイプ4と呼ばれるより高電力のクラスを識別するための分類方法が規定されているため、IEEE802.3af/at準拠のPSEではタイプ1とタイプ2に対しては、それぞれシングルイベント分類または2イベント分類を行っていましたが、タイプ3とタイプ4に対しては複数イベント分類を使用します。

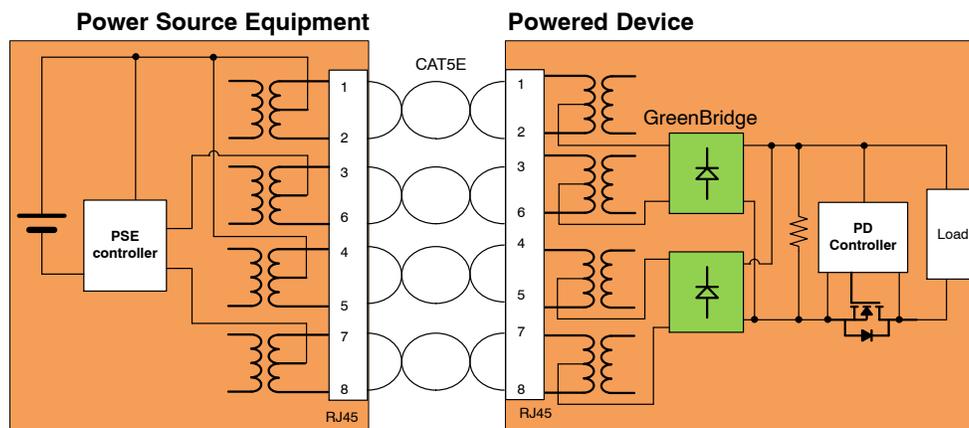


Figure 12. Single-signature 4-Pair Power PoE

シングルシグネチャPDに対する両方のペアセットでのPDの最大平均電力(P_{Class_PD})を分類に従ってTable 2に示します。

Table 2. MAXIMUM AVERAGE POWER FOR SINGLE-SIGNATURE PD

PD Type	Class	P_{Class_PD} (W)	Note
1	1	3.84	2-PAIR (IEEE802.3af)
	2	6.49	
	3	13.0	
2	4	25.5	2-PAIR (IEEE802.3at)
3	5	40.0	4-PAIR (IEEE802.3bt)
	6	51.0	
4	7	62.0	
	8	71.3	

デュアルシグネチャの電力供給システムでは、両ペアセットのそれぞれがPSEとPD間の個別のシグネチャ検出と分類を備えています。割り当てられたPDの電力に応じてタイプ3およびタイプ4として指定されます。デュアルシグネチャのPDは、各ペアセットで異なるクラスのシグネチャを通知します。各ペアセットの相互識別中に、PSEは複数のクラスイベントを実行することによって、クラス5を識別します。Figure 13はデュアルシグネチャの4ペアPoEの回路図を示しています。

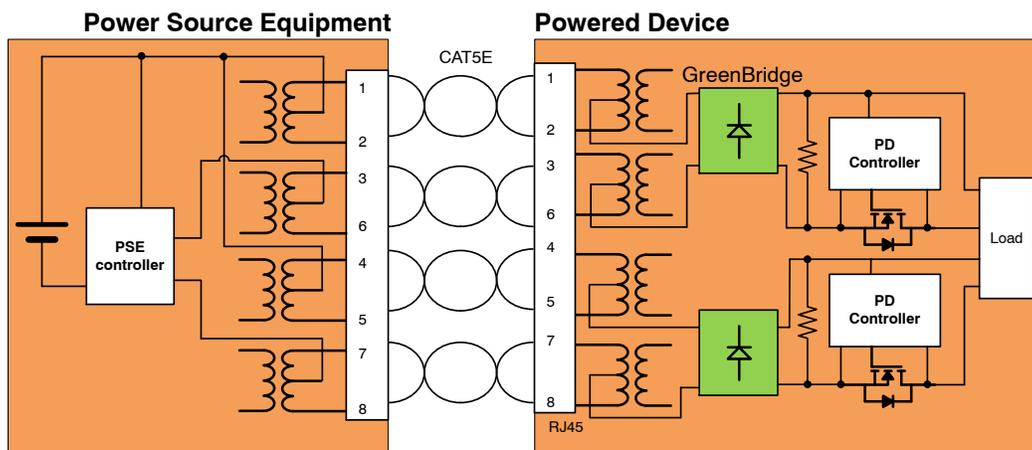


Figure 13. Dual-signature 4-Pair Power PoE

デュアルシグネチャPDに対するPDの各ペアセットの最大平均電力(P_{Class_PD-2P})を分類に従ってTable 3で定義します。

Table 3. MAXIMUM AVERAGE POWER FOR DUAL-SIGNATURE PD

PD Type	Class	P_{Class_PD-2P} (W)
3	1	3.84
	2	6.49
	3	13.0
	4	25.5
4	5	35.6

4ペア給電のPoEでは、ペア間の電流アンバランスを調整する必要があります。新しい規格では、Table 4に示すように、両ペアセットの一方の電流が連続2ペアアンバランス電流($I_{Con-2P-usb}$)を超えないように最大PDコモンモード入力抵抗($R_{Pair_PD_max}$)を規定しています。

Table 4. PAIR-TO-PAIR CURRENT UNBALANCE REQUIREMENT

PD Type	Class	$I_{Con-2P-usb}$ (A)	$R_{Pair_PD_max}$ (Ω)
3	5	0.55	$2.182 \times R_{PAIR_PD_min} + 0.125 \Omega$
	6	0.692	$1.988 \times R_{Pair_PD_min} + 0.105 \Omega$
4	7	0.794	$1.784 \times R_{Pair_PD_min} + 0.08 \Omega$
	8	0.948	$1.727 \times R_{Pair_PD_min} + 0.074 \Omega$

式 $R_{\text{Pair_PD_max}} = \alpha \times R_{\text{Pair_PD_min}} + \beta$ 中の定数 α と β が小さいほど、 $I_{\text{Con-2P-unb}}$ の要件を確実に満足することになります。シールドゲート PowerTrench MOSFET 技術を導入することにより実現した GreenBridge II FDMQ8205A の極めて低い $R_{\text{DS(ON)}}$ は、最大 PD コモンモード入力抵抗よりもはるかに小さい値です。一方、従来のダイオードブリッジには、比較的扱いにくい約 0.5 V の電圧降下があり、48 V の PSE 電圧で 90 W の電力を PSE から供給する場合、540 m Ω の実効入力抵抗が生じます。

Table 5. $R_{\text{DS(ON)}}$ OF P&N-CH MOSFETS IN FDMQ8205A

Parameter	Conditions	Typ.	Max.	Unit
N-ch MOSFET (Q1, Q4)	$V_G = 48 \text{ V}$, $I_{\text{INPUT}} = 1.5 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	29	44	m Ω
P-ch MOSFET (Q2, Q3)	$V_G = 48 \text{ V}$, $I_{\text{INPUT}} = 1.5 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	83	125	m Ω

GreenBridge の内部 MOSFET の $R_{\text{DS(ON)}}$ は正の温度係数を持っているため、接合部温度の差によって適切な電流を分配することにより、ペア間の電流アンバランスを改善する上で有利になります。例えば、4 ペア給電に電流アンバランスがあると、両 GreenBridge の一方の温度が上昇し、正の温度係数のために $R_{\text{DS(ON)}}$ がさらに増加します。その結果、もう一方の電流が小さく温度が低い GreenBridge には、より多くの電流が流れ、電流アンバランスが減少します。これに対し、従来のダイオードブリッジでは、順方向電圧 (V_F) が負の温度係数を持っています。ペア間の電流アンバランスにより一方のダイオードブリッジの温度が上昇すると、温度が高い方のダイオードブリッジの順方向電圧が、他方の温度が低いダイオードブリッジよりもさらに低下します。そのため、高温のダイオードブリッジには、さらに電流が流れず、最終的には熱暴走の可能性があるため、4 ペア給電におけるダイオードブリッジでは、慎重に順方向電圧の許容範囲を管理する必要があります。

GreenBridge はより高い電力条件において、従来型ダイオードブリッジよりもはるかに大きな電力削減と熱性能の向上を実現できます。

GreenBridge の電力損失は以下の式で計算できます。

$$\begin{aligned}
 &= [\text{MOSFET Conduction loss}] + [\text{Gate driving loss}] \\
 &= [I_{\text{IN}}^2 \times R_{\text{DS(ON)_Pch}} + I_{\text{IN}}^2 \times R_{\text{DS(ON)_Nch}}] + [V_{\text{IN}} \times I_{\text{G}}],
 \end{aligned}$$

ここで、 I_{IN} は入力電流で、 I_{G} はゲートドライバで消費される電流で、48 V の標準入力電圧で約 2 mA です。4 ペア給電時における FDMQ8205A の電力損失シミュレーション結果を従来型ダイオードブリッジと比較して、Figure 14 に示します。この図によると、FDMQ8205A は PD 電力の全クラスで、ダイオードブリッジに比べ 80% を超える電力削減を達成しています。

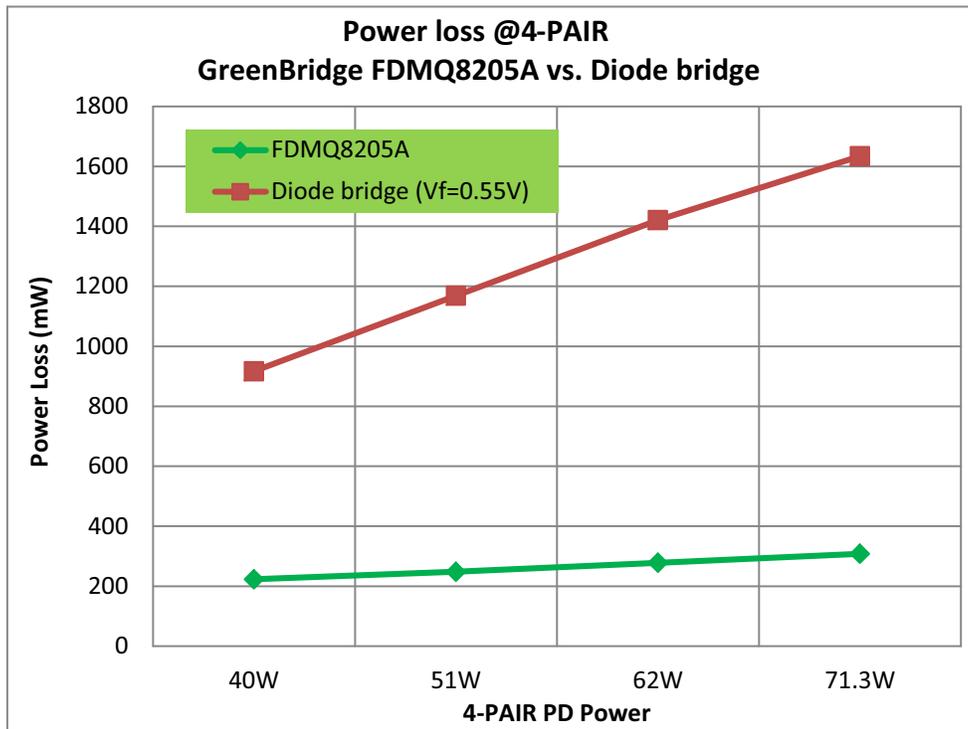


Figure 14. Power Loss Comparison @ 4-PAIR

FDMQ8205Aの熱性能をFigure 15に示します。両方のFDMQ8205Aが4ペア給電時に90 Wの入力電力を整流する場合、周囲温度25°Cにおけるトップケースの温度は60°C未満に維持されていますが、100 Vのショットキーダイオードブリッジでは110°Cまで温度上昇します。FDMQ8205Aは、限られたプリント基板面積で熱的課題に悩まされる高電力PoEのPDアプリケーションの開発にとって優れたソリューションです。

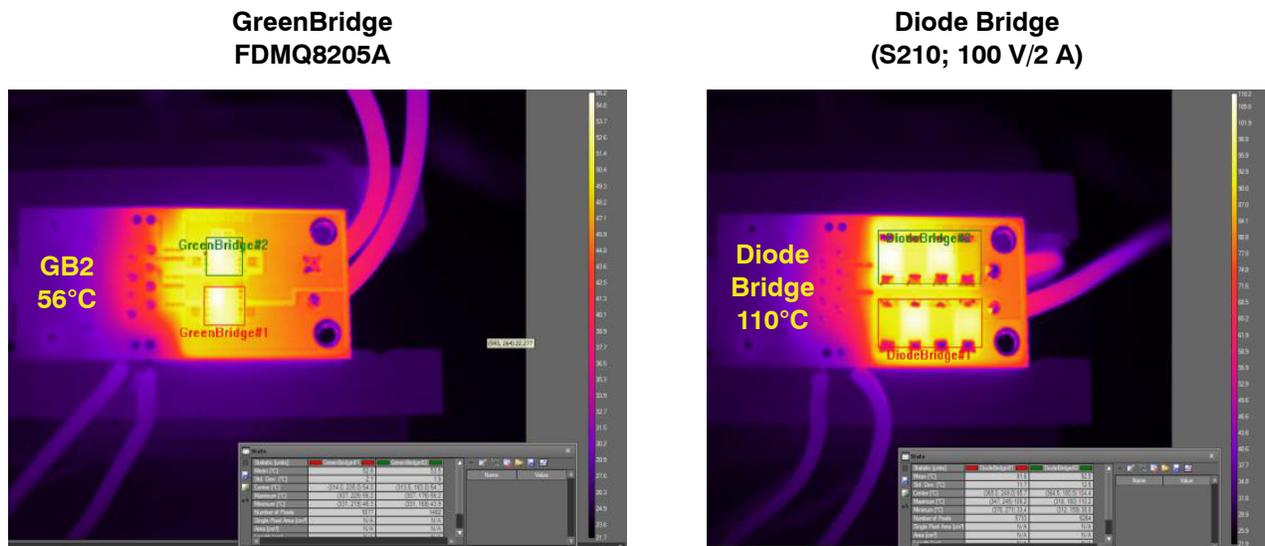


Figure 15. FDMQ8205 Thermal Performance @ 90 W (25°C Room Ambient Temperature)

まとめ

PoEにより、ネットワーク上の機器に幹線レベルの電圧を分配する必要がなくなるため、ネットワークを低コストで安全に導入できます。また、単一の無停電電源装置でネットワーク全体を保護する機能など、新たな機能ももたらされます。しかし、ネットワーク上の機器の電力レベルが機能性向上に伴って増加するのに従い、エネルギー効率とサイズが設計課題として浮上します。

Table 6. ON SEMICONDUCTOR FDMQ8203 AND FDMQ8205 APPLICATIONS

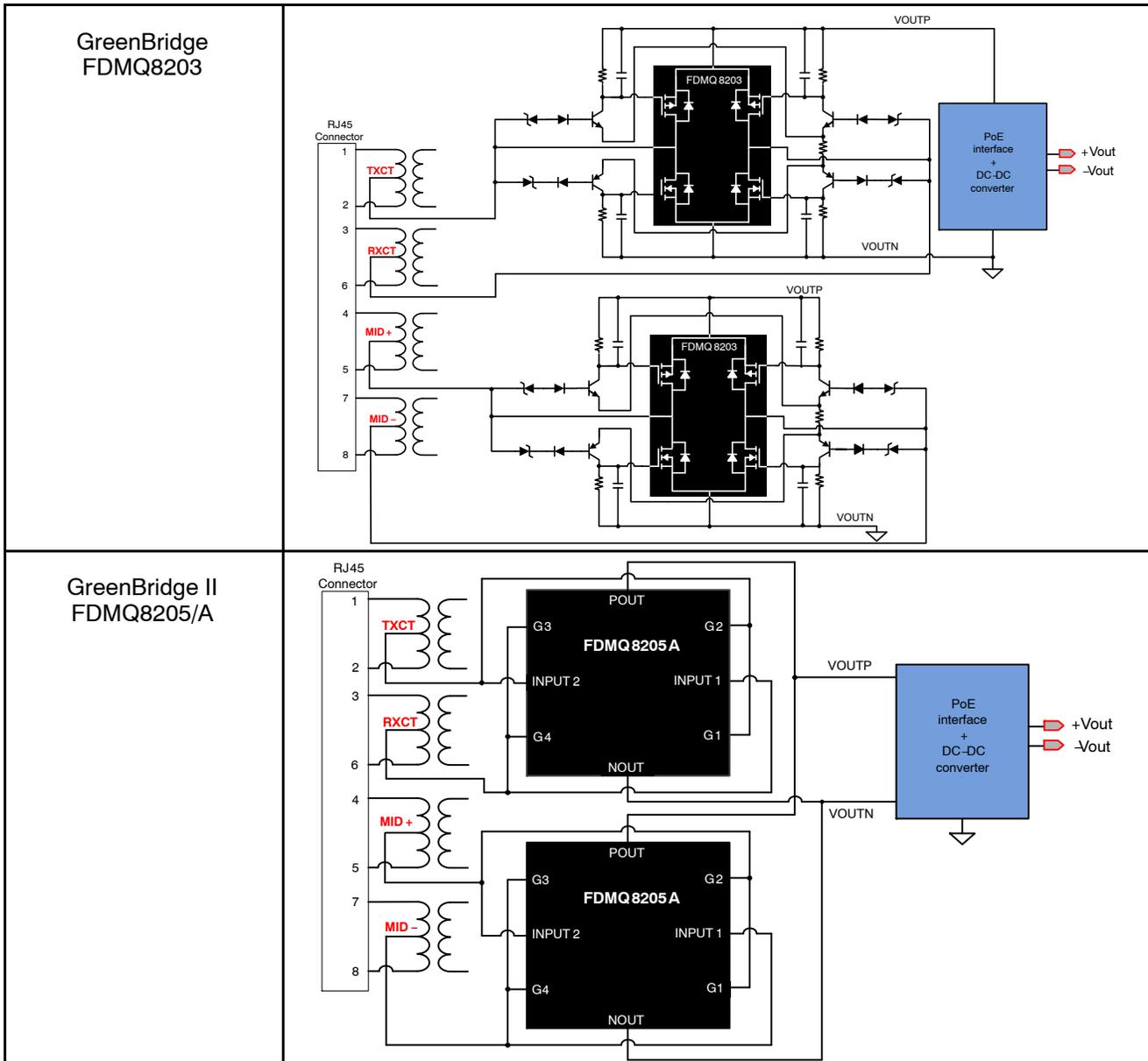


Table 6は、前述したオン・セミコンダクターの第1、第2世代のGreenBridge技術を、このようなアプリケーションにどう展開できるかを示しています。高電力密度MOSFETベースのこれらの半導体は、従来型ダイオードベースのものとは比べ、システム効率の大幅な向上と動作温度の低下によって、機能性、電力、サイズの課題に対処するのに役立ちます。

GreenBridge is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) or its subsidiaries in the United States and/or other countries.

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Markings.pdf。ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com
Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative