

BRIDGESWITCH™ のハードウェア ベースのモーター異常保護による製品安全認証の簡素化

モーターが組み込まれた家電製品は、国際的な安全基準で規定された特定の要件に準拠することが求められます。統合型ハーフブリッジアーキテクチャのBridgeSwitchは、フェイルセーフで冗長化した独自のローサイド及びハイサイドサイクル・バイ・サイクルのカレントリミット機能を有します。これにより、異常動作時のモーターの保護をその保護のためのソフトウェアに依存することなく、保護装置として機能させることが可能です。このソフトウェアに依存せずにモーターを保護することにより、安全基準認証プロセスを大幅に簡素化及び短縮することを可能にします。

ホワイトペーパー



はじめに

BridgeSwitchは、ローサイド及びハイサイドドライバを備えた2つのNチャンネルパワーFREDFETを低背型表面実装パッケージに組み込んだ、ハーフブリッジモータードライバICです。一般的な用途として、食洗機、冷蔵庫、ファンなどの家庭用電化製品の高電圧単相または三相ブラシレスDC (BLDC) モータードライブに適しています。それぞれのパワースイッチは、独自のサイクル・バイ・サイクル・カレント・リミット保護を有しています(詳細については、[1]を参照してください)。この独自の機能は、異常動作時にデバイスだけでなく、インバータとモーターも保護します。

従来の異常保護は、検出回路を介して電流または温度をマイクロコントローラで監視することで実施されます。この場合、異常状態にある家電製品の安全性は制御ソフトウェアを実行しているマイクロコントローラに依存することになり、国際安全基準ではソフトウェアの基準認証が必要になります。これは、時間と費用のかかるプロセスです。

対照的に、ハードウェアベースのモーター異常保護は、ソフトウェアを実行するマイクロコントローラに依存しません。そのため、製品のリリース及びその後の更新申請時の安全認証プロセスを簡素化できます。次項では、家庭用電化製品に適用される安全基準の概要を示します。また、BridgeSwitch でハードウェア ベースのモーター異常保護がどのように機能するかを説明し、デザイン例で得られたテスト結果を提示します。

家電製品の安全基準

IEC 60335-1 基準「家庭用及びこれに類する電気機器の安全性」は、電化製品に一般的に適用されます [2]。これは、機械的強度や湿気、熱などの環境条件など、さまざまな側面を基準化します。いくつかの電気安全トピックには、絶縁性能、過負荷保護、漏れ電流、または過電圧が含まれます。その基準の第 19 項では、異常動作の対処方法について「電気回路は、異常状態によって感電、火災、機械的危険、または危険な誤動作が生じ、家電製品の安全が損なわれることのないように設計及び適用されるものとします。」と説明しています。インバータ駆動のBDLCモーターを組み込んだ家電製品は、表 1 に示す追加の特定のテストの対象となります。

項	異常状態
19.7	モーター ストール
19.8	相切断 (多相モーター)
19.9	過負荷状態
19.11	電気回路の異常

表 1 IEC 60335-1 で定義されたインバータ駆動 BLDC モーターの異常状態

モーターのストールテストでは、ローターをロック状態にして、家電製品を一定時間、例えば5分間または定常状態が確立されるまでの時間、定格電圧で動作させます。モーターの巻線温度は、特定の巻線絶縁クラスに基づい

た最高温度を超えないようにします (詳細については、[2] の表 8 を参照してください)。例えば、保護デバイスで保護されている場合、105 (A) の巻線絶縁クラスでは、最初の 1 時間後に 150 °C を超えないようにします。

多相モーターが組み込まれた家電製品の場合、相の 1 つを切断し、家電製品を通常の条件下で一定時間、定格電圧で動作させます。例えば、5 分間または安定した状態が確立されるまでの時間です。

過負荷テストの実行は、家電製品を定格電圧で動作させ、安定した状態が確立された後に開始されます。その後、モーター巻線の電流が 10% 上昇するまで負荷を増加して、家電製品が再び安定した状態に達するまで動作させます。この段階的な過負荷の増加は、保護機能が動作するか、モーターが停止するまで繰り返されます。モーターの巻線温度は最高温度を超えないようにします。例えば、クラス 105 (A) 巻線絶縁の場合は 140 °C です。

インバータで使用される集積回路は、端子のオープンテスト及びショートテスト (接続されたコンデンサの短絡を含む) に合格する必要があります。保護機能を有する回路は、家電製品の起動前、または起動後の任意の時点で異常状態を検知して保護することを目的とします。

特に重要なのは、IEC 60335-1 の Annex R「Software evaluation」です。IEC 60335-1 準拠に対して、異常状態を制御するソフトウェアを必要とするプログラム可能な電子回路は、IEC 60730-1「Automatic electrical controls for household and similar use」の Annex H で規定された要件も満たす必要があります [3]。これは通常、モーターの異常動作時にソフトウェアを実行するマイクロコントローラによって保護されるモータードライブの場合です。

IEC 60730-1 の項 H.2.22 は、表 2 に記載されている 3 つの異なる制御機能のクラスを定義しています。

制御機能	目的
クラス A	アプリケーションの安全性に依存しない。
クラス B	家電製品の安全でない状態を防止する。制御機能の故障が危険な状況に直結しない。
クラス C	爆発などの危険や故障により、家電製品に直接危険が生じる状況を防止する。

表 2 IEC 60730-1 の Annex H.2.22 で定義されている制御機能クラス

クラス B の制御機能は、家庭用電化製品で最も一般的に使用されています。異常動作時の安全性を提供するため、ソフトウェアを実行するマイクロコントローラとソフトウェア自体の両方に関する多くの安全要件に準拠する必要があります。これには、クロック、レジスタ、メモリ、ADC、I/O 周辺装置などの定期的な CPU セルフテストとコンポーネント監視が含まれます (詳細については、IEC 60730-1 の表 H.1 を参照してください。[3])。

IEC 60730-1 の Annex H.27 に規定されている異常動作には、H.27.1 項に従った電子回路の内部故障に対する評価が含まれています。集積回路で想定される故障モードには、コンデンサのオープンまたはショート、端子のオープン及び隣接端子とのショートなどがあります。モーター負荷を含む機器は、過負荷 (またはモーター ロック) テストの対象となり、上記の集積回路で起こり得る故障モードの 1 つが適用されます。合格の基準には、発火、金属の高温化、プラスチックの高温化がないこと、及び爆発が発生しないことが含まれます。最後に、IEC60730-1の項 H.27.1.2 では、安全性を確保するための内部異常に対する保護の要件を規定しています。システムは、本質的にフェールセーフであるか、安全を最重視する機能が直接組み込まれたコンポーネントが安全機能によって保護されている必要があります。安全機能はハードウェアベースにする必要があります。これはソフトウェアによって補完することができます (詳細については [3] を参照してください)。

BridgeSwitch によるハードウェア ベースのモーター異常保護

BridgeSwitch は、高電圧ブラシレス DC モーターを駆動するために設計された統合型ハーフブリッジです。BridgeSwitch には、低背型表面実装パッケージに 2 つの高耐圧 N チャンネル パワー-FREDFET とそれらのローサイド及びハイサイドドライバが内蔵されています。

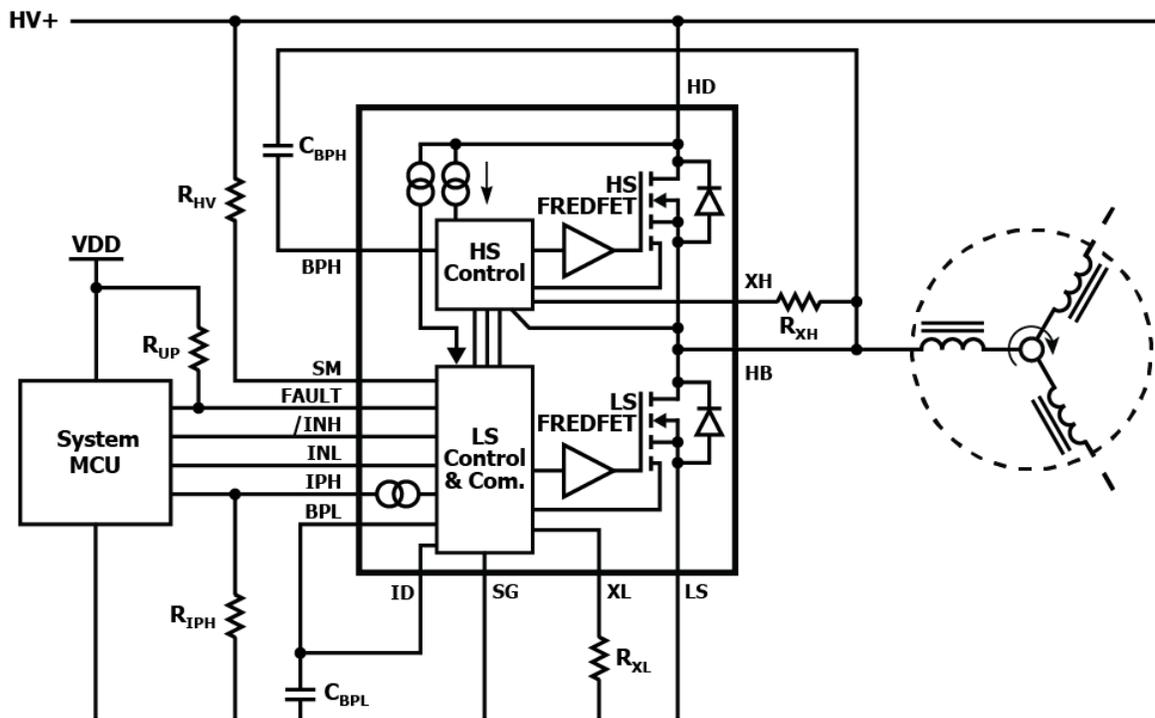


図1 BridgeSwitch を使用した標準的な 3 相インバータ モータードライブ

図 1 に、BridgeSwitch を使用した一般的なモータードライブの回路図を示します。3 つの BridgeSwitch デバイス U1、U2、及び U3 は、BLDC モーターを駆動する 3 相インバータを形成します (デバイス U2 及び U3 は簡略化された回路図記号を使用します)。各パワースイッチには、それぞれローサイドまたはハイサイドドライバに伝送さ

れる SenseFET 出力があります。これにより、異常動作時にモーターを保護するサイクル・バイ・サイクル・カレント・リミット機能を実現します。XL 及び XH 端子に接続された抵抗 R_{XL} 及び R_{XH} により、それぞれの FREDFET にサイクル・バイ・サイクル・カレント・リミットのスレッシュホールドを個別に設定できます。パワー FREDFET 電流がそれぞれのカレントリミットレベルのスレッシュホールドを超えるとすぐに、デバイスはパワー FREDFET をオフにします。ターンオフは非常に高速で、過電流検出からターンオフまで数百ナノ秒です。デバイスは、それぞれの INL または /INH PWM 制御入力からターンオフ エッジとそれに続くターンオン エッジを受信するまでオフを維持します。

BridgeSwitch のカレントリミット保護は、本質的にフェールセーフです。これはカレントリミット選択端子 XL 及び XH を常に監視します。端子の 1 つで短絡を検出すると、それぞれのパワースイッチのスイッチングを停止します。端子の 1 つがオープン回路になると、それぞれのカレントリミットスレッシュホールドがゼロに低下します。従って、このような異常時にモーター巻線に電流が流れるのを効果的に防止します。

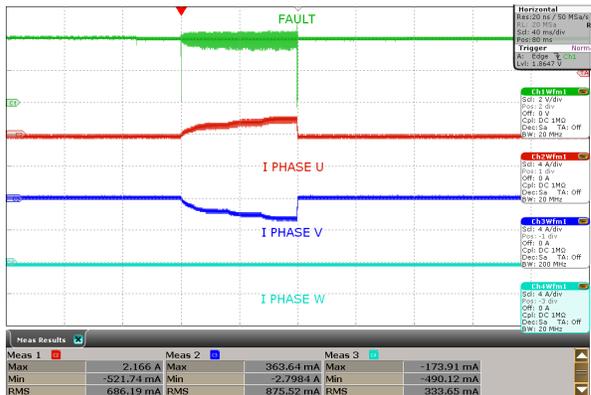
統合型ハーフブリッジアーキテクチャは、モーター保護に特別なレベルの冗長性を追加します。例えば、[図 1](#) のデバイス U1 及び U2 のように、モーターには必ず 2 つの直列 BridgeSwitch デバイスがあります。1 つのデバイスに異常が発生した場合でも、もう 1 つの独立したデバイスがあるため、その過電流保護機能によって異常動作時のモーターを保護します。

BridgeSwitch はさらに、FAULT インターフェイスを介して過電流異常またはカレントリミットスレッシュホールド選択端子の異常をシステムのマイクロコントローラに伝送します (詳細については、[\[1\]](#) を参照してください)。このレポートは独立しており、モーターの保護にソフトウェアは関係していないことに注意してください。

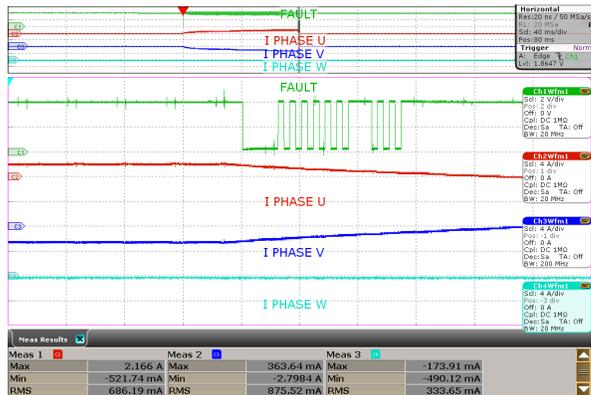
サンプル デザインのテスト結果

DER-654 は、Power Integrations によって開発された 300 W 3 相 BridgeSwitch インバータのデザイン例です [\[4\]](#)。このインバータの特徴は、[表 1](#) にリストされたモーターのある家電製品に特有の異常動作状態での、ハードウェアベースのモーター異常保護です。このデザイン例で実施されるテストでは、12 kHz ハイサイド PWM の台形制御と 340 V DC バス電圧で駆動されるインバータが適用されます。

[図 2](#) は、モーター巻線電流波形のプロットと、ローターがロックされた状態で起動しようとするインバータの FAULT インターフェイス信号を示します。モーターの V 相を駆動する BridgeSwitch デバイスのカレントリミット保護が動作すると、モーター相電流は 2.9 A まで上昇し、その後すべてのモーター電流はゼロに低下します。インバータは、この特定のテスト条件で 10 分間連続動作し、その間モーターは動作しない状態になります。テスト中またはテスト後に、デバイスまたはモーターの損傷はありません。FAULT インターフェイスは、過電流状態をマイクロコントローラにレポートします (詳細については、[\[1\]](#) を参照してください)。



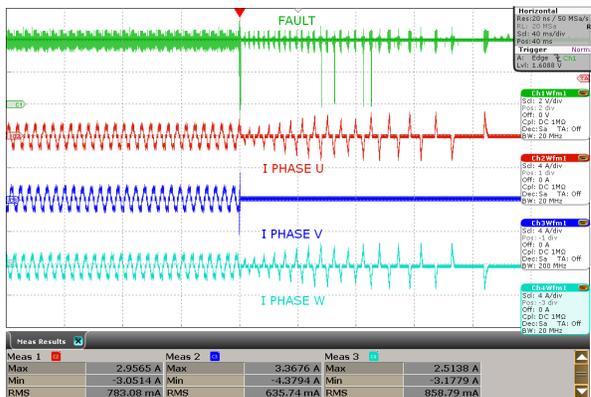
概要図、FAULT インターフェイス、相電流 4 A/Div.、40 ms/Div. タイムスケール



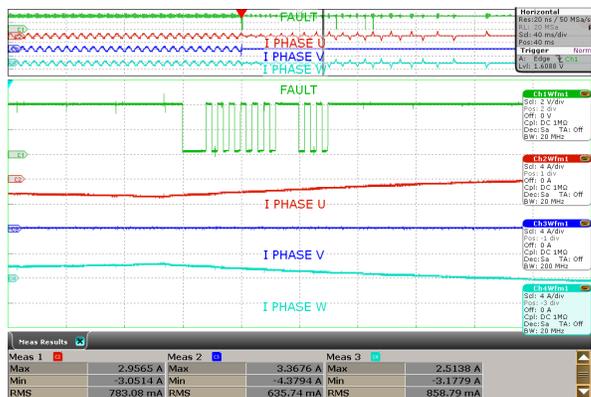
拡大図、FAULT インターフェイス相電流 4 A/Div.、0.1 ms/Div. タイムスケール

図2 ローターロック状態でのモーターの起動

図3は、V相が切断された状態の動作中のモーター巻線電流波形プロットとインバータのFAULTインターフェイス信号を示します。モーターは、U相とW相の電流がそれぞれのデバイスのカレントリミットスレッショールドに到達して停止するまで、異常な動作を続けます。BridgeSwitchは、FAULTインターフェイスを介して過電流異常のフラグをマイクロコントローラに送信します。



概要図、FAULT インターフェイス、相電流 4 A/Div.、40 ms/Div. タイムスケール

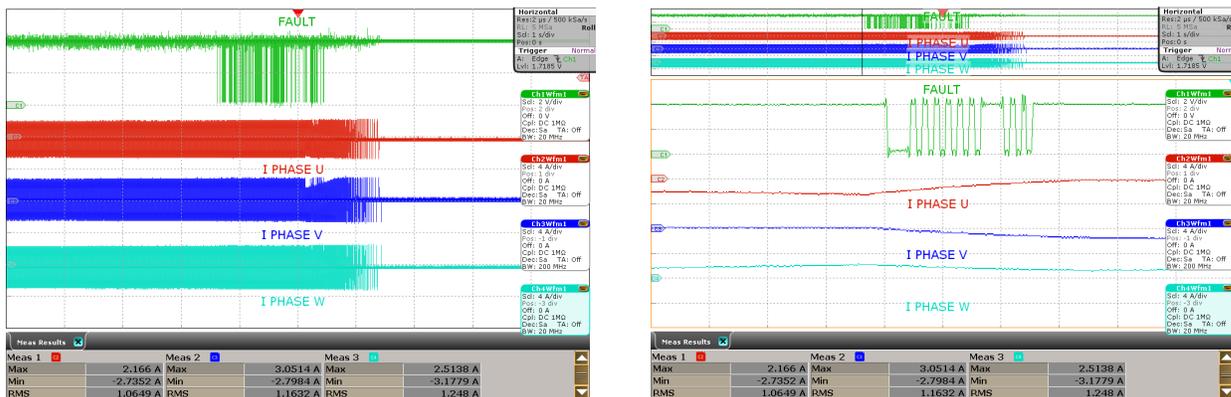


拡大図、FAULT インターフェイス相電流 4 A/Div.、0.1 ms/Div. タイムスケール

図3 相の切断テスト

図4に、過負荷テスト中のモーター巻線電流波形プロットとFAULTインターフェイス信号を示します。テストの開始時に、インバータは定常状態で300 Wの出力を供給します。モーターの巻線電流が10%上昇するまでモーター負荷を増加し、インバータが再び安定した状態になるまでで動作させます。この段階的な過負荷の増加は、モーター巻線電流が設定されたデバイスのカレントリミットスレッショールドに達するまで繰り返します。この例

では、3つすべてのデバイスで過電流がトリガされ、各デバイスはFAULTインターフェイスを介してマイクロコントローラに異常を示しています。この状態で10分間運転すると、最終的にモーターはデバイスまたはモーターを損傷することなく停止します。



概要図、FAULT インターフェイス、相電流 4 A/Div、1 s/Div、
タイムスケール

拡大図、FAULT インターフェイス相電流 4 A/Div、0.1 ms/Div、
タイムスケール

図 4 過負荷テストの実行

UL 情報レポート

ULは、インバータ設計例DER-654[4]を使用したモーターの異常動作時のテスト結果をレビューし、表1にリストされた IEC 60333-51 のモーターの異常動作の要件及び IEC 60730-1 の H.27.1 項に準拠しており、異常な状態の制御についてソフトウェアに依存することがないと結論付けました。UL 情報レポート No. 4788685352 には実施されたレビューの結果が文書化されています。これは Power Integrations の Web サイトからダウンロードできます[5]。情報レポートは、メインのレポートと 4 つの付属文書の合計 5 つの部分で構成されています。

- テストレポート IEC 60335-1
- 付属文書 1: 写真
- 付属文書 2: エンジニアリング レポート DER-654 とテスト結果
- 付属文書 3: AN-76 デバイスレベルの単一故障テスト結果
- 付属文書 4: テストレポート IEC 60730-1

アプリケーション ノート AN-76 には、IEC 60335-1 の 19.11 項及び IEC 60730-1 9 の H.27.1.1.5 項 (該当する場合)に従って、デバイスレベルの単一故障テストの結果が文書化されています。これには、すべての端子のオープンテスト、隣接する端子のショートテスト、デバイスシステムグランドへのローサイドロジックピンのショートテスト、ハーフブリッジ接続へのハイサイドロジック端子のショートテストが含まれます。

まとめ

BridgeSwitchのフェイルセーフローサイド及びハイサイドサイクル・バイ・サイクル・カレント・リミット機能は、異常動作時にインバータとモーターを保護します。統合型ハーフブリッジアーキテクチャでは、モーターには常に2つの独立したデバイスが直列に接続され、冗長化を実現します。異常動作時のモーター保護はハードウェアベースであり、ソフトウェアに依存しません。従って、BridgeSwitchのハードウェアベースのモーター異常保護により、クラス A の制御機能の適用が可能になり、家電製品の安全認証プロセスを大幅に簡素化できます。

資料

- [1] ["BridgeSwitch Family Datasheet"](#), Power Integrations, Inc., October 2019
- [2] IEC 60335-1 Ed.5.2, Safety for household appliances and similar electrical appliances, IEC, May 2016
- [3] IEC 60730-1 Ed.5.1, Automatic electrical controls for household and similar use, December 2015
- [4] ["DER-654 300 W 3-phase Inverter Using BridgeSwitch"](#), Power Integrations, May 2019
- [5] ["Informative Test Report 4788685352"](#), UL LLC, December 2018

世界各国の販売サポート担当

世界本社

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138, USA

電話 +1 408 414 9200
ファックス +1 408 414 9201

カスタマー サービス

電話 +1 408 414 9520
電子メール usasales@power.com

アメリカ - 東部

7360 McGinnis Ferry Road, Suite 225
Suwanee, GA 30024 USA

電話 +1 678 957 0724
電子メール usasales@power.com

アメリカ - 中部

3100 Dundee Road, Suite 204
Northbrook, IL 60062 USA

電話 +1 847 721 6293
電子メール usasales@power.com

中国 (上海)

Room 1601-1603, Charity Plaza
No. 88 North Caoxi Road
Shanghai, China 200030

電話 +86 021 6354 6323
電子メール chinasales@power.com

中国 (深圳)

17/F, Hivac Building, #2
Keji South 8th Road, Nanshan District
Shenzhen, China 518057

電話 +86 755 8672 8689
電子メール chinasales@power.com

ドイツ (AC-DC/LED 販売)

Einsteinring 24
85609 Dornach / Aschheim
Germany

電話 +49 89 5527 39100
電子メール eurossales@power.com

ドイツ (ゲートドライバ販売)

HellwegForum 1
59469 Ense
Germany

電話 +49 29 3864 39990
電子メール gate-drivers.sales@power.com

インド (バンガロール)

Bangalore 560052 India

電話 1 +91 80 4113 8020
電話 2 +91 80 4113 8028
電子メール indiasales@power.com

インド (ムンバイ)

Unit 106-107, Sagar Tech Plaza-B
Sakinaka, Andheri Kurla Road
Mumbai-400072, Maharashtra, India

電話 1 +91 22 4003 3700
電話 2 +91 22 4003 3600
電子メール indiasales@power.com

インド (ニューデリー)

#45, Top Floor
Okhla Industrial Area, Phase-III
New Delhi, India
Pin-110020

電話 1 +91 11 4055 2351
電話 2 +91 11 4055 2353
電子メール indiasales@power.com

イタリア

Via Milanese 20
20099 Sesto San Giovanni (MI)
イタリア

電話 +39 02 4550 8708
電子メール eurossales@power.com

日本

〒222-0033
神奈川県横浜市港北区新横浜 1-7-9
友泉新横浜一丁目ビル

電話 +81 45 471 1021
電子メール japansales@power.com

韓国

Room 602, 6th Floor, #22
Teheran-ro 87-gil, Gangnam-gu
Seoul 06164, Korea

電話 +82 2 2016 6610
電子メール koreasales@power.com

シンガポール

51 Newton Road
#20-01/03 Goldhill Plaza
Singapore 308900

電話 +65 6358 2160

カスタマー サービス

電話 +65 6356 4480
電子メール singaporesales@power.com

スイス

Johann-Renfer-Strasse 15
2504 Biel/Bienne, Switzerland

電話 +41 32 344 47 47
電子メール gate-drivers.sales@power.com

台湾

5F, #318, NeiHu Road, Section 1
Neihu District
Taipei, Taiwan 114, ROC

電話 +886 2 26594570
電子メール taiwansales@power.com

英国

Building 5, Suite 21
The Westbrook Centre
Milton Road, Cambridge CB4 1YG

電話 +44 7823 557484
電子メール eurossales@power.com



Power Integrations, Power Integrations ロゴ, BridgeSwitch, CAPZero, ChiPhy, CHY, DPA-Switch, EcoSmart, E-Shield, eSIP, eSOP, FluxLink, HiperPLC, HiperPFS, HiperTFS, Inno Mux, InnoSwitch, Innovation in Power Conversion, InSOP, LinkSwitch, LinkZero, LYTSwitch, SENZero, TinySwitch, TOPSwitch, PI, PI Expert, SCALE, SCALE-1, SCALE-2, SCALE-3, SCALE-iDriver, 及び SCALE-iFlex は Power Integrations, Inc. の商標です。その他の商標は、各社の所有物です。

©2019, Power Integrations, Inc.