

ACPL-W346、ACPL-339J SiC MOSFET ゲート駆動フォトカプラ

はじめに

炭化ケイ素 (SiC) パワー半導体は、市場で急速に普及しつつあります。それらは、従来のシリコン系パワー半導体を凌ぐいくつかのメリットをもたらします。SiC MOSFET は、システム全体の効率を 10% 以上改善し、より高いスイッチング能力によってシステム全体のサイズを縮小し、コストを削減します。技術的な優位性とコストの低下が相まって、産業用モータ制御、誘導加熱、工業用電源、再生可能エネルギーなどの用途で、SiC パワー半導体の採用が加速しています。

Broadcom® のゲート駆動フォトカプラは、IGBT やパワー MOSFET などのシリコン系半導体の駆動に広く用いられています。フォトカプラは、制御回路と高電圧およびパワー半導体との間で、強化ガルバニック絶縁を提供します。高い同相ノイズ除去性能 (CMR) により、高周波スイッチング時のパワー半導体の誤点弧を防ぐことができます。このホワイトペーパーでは、次世代ゲート駆動フォトカプラを使用した SiC MOSFET の保護および駆動について解説します。

SiC MOSFET の優位性

炭化ケイ素 (SiC) はシリコンと炭素の化合物で、広いバンドギャップ (3.2 eV) を持ちます。広バンドギャップの SiC は、高電圧、高周波、高温で動作できるうえ、シリコン素材より 1 桁低いオン抵抗とゲート電荷を備えています。Cree 社が実施した評価では、10 kW ハードスイッチング・インターリーブ昇圧 DC/DC コンバータを使用して、第 2 世代 1200V/20A SiC MOSFET とシリコン高速 1200V/40A H3 IGBT を比較しました。その結果、スイッチング周波数が 5 倍の SiC ソリューションは、100 kHz で 99.3% の最大効率を達成し、IGBT を用いた 20 kHz のソリューションの最大効率より 18% も損失を減らせることを明らかにしました。

Cree 社の新しい MOSFET の C2M ファミリは、さまざまな用途に対応する広範な 1200V および 1700V SiC MOSFET を競争力のある価格で提供します。Cree 社は、スイッチング性能を改善し、オン抵抗 $R_{ds(on)}$ を低減しながら、一方でコスト低減にも取り組み続けています。スイッチング性能を高めることにより、インダクタのサイズをかなり小さくできます。電導損失とスイッチング損失の低減により、小さなヒートシンクの使用や、冷却ファンに替えてパッシブ冷却ソリューションを利用できる可能性があります。さらに、インダクタとヒート・シンクのサイズの小型化は、システム・サイズの小小型化に繋がります。SiC 半導体のコストが Si 半導体よりも高いとはいえ、システム全体の部品コストは Si 技術より 20% 以上低減できる可能性があります。

SiC MOSFET 市場と採用

SiC 技術は、今日、シリコンの信頼できる代替技術として広く認められるようになりました。世界中で 30 社以上が SiC デバイスの製造能力を確立し、関連する市場に販促活動を繰り広げています。また、多くのパワー・モジュールおよびパワー・インバータ・メーカーが、自社の製品ロードマップに SiC 製品をラインナップしています。

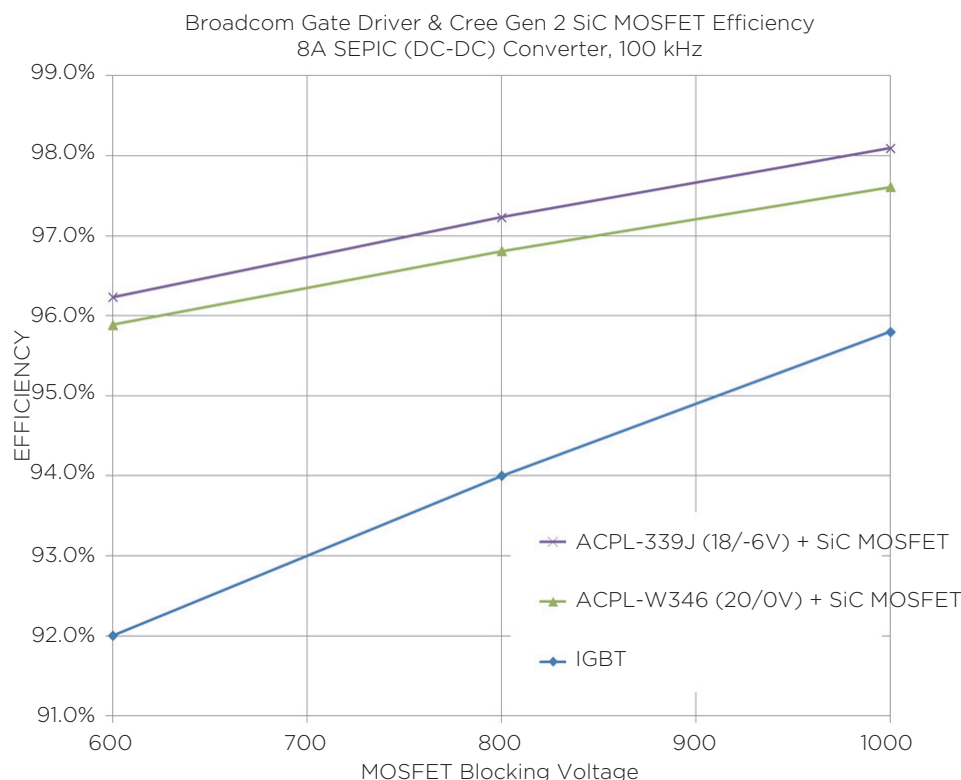
ソーラー・インバータとサーバ電源のメーカーは、効率が技術ランキングにおいて重要であるため、早期に SiC 半導体を採用しました。2013 年には、ヨーロッパの大手ソーラー・インバータ・メーカーである REFU、SMA および Delta 各社が SiC を採用したモデルを発表しました。Photon 誌が、SMA 社の SiC インバータを評価したところ、効率は 98% から 99% を実現し、インバータの重量は同等の IGBT インバータと比べ 30% 軽量でした。SiC 半導体の生産量は、供給性の向上、幅広い電圧多様性、一層のコスト低減により、今後、増加すると予測されます。これらの結果、モータ駆動装置、鉄道トラクション、工業用 UPS、ハイブリッド自動車などの用途での採用が増える見込まれます。

SiC MOSFET ゲート駆動フォトカプラ

Broadcom のゲート駆動フォトカプラは、IGBT などのシリコン系半導体の駆動に広く用いられています。このホワイトペーパーでは、次世代ゲート駆動フォトカプラの改善点を解説し、SiC MOSFET を駆動および保護する方法について説明します。

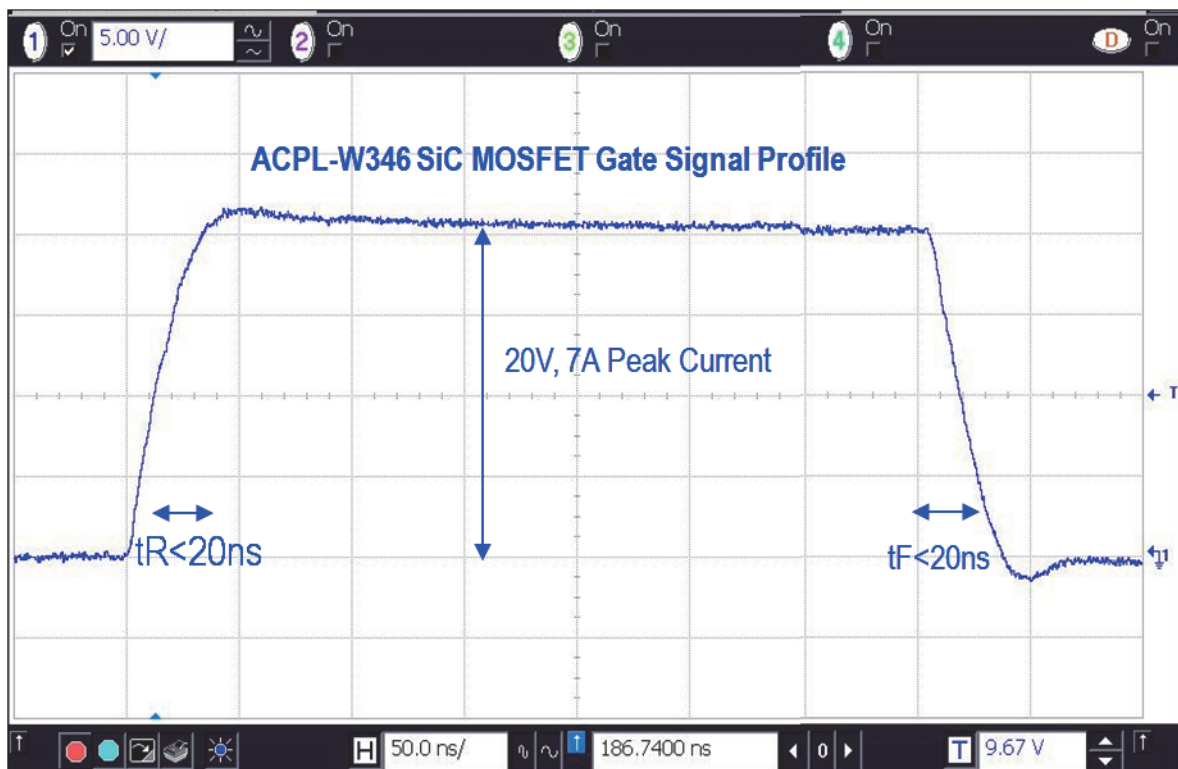
Broadcom は、SiC 市場リーダーの 1 つ Cree 社の協力を得て、SiC MOSFET の駆動に最適なゲート駆動フォトカプラを開発しています。Cree C2M SiC MOSFET と、ゲート駆動フォトカプラ ACPL-W346 および ACPL-339J の組み合わせを、100kHz スイッチングの 8A SEPIC DC-DC コンバータにより評価しました。結果は下図に示すとおり、これらのフォトカプラのゲート駆動能力は、Cree 社の効率要件である 98% を満たしました。

図 1 : Achieving High Efficiency with Broadcom Gate Drive Optocouplers and Cree C2M0080120D SiC MOSFET



Cree SiC MOSFET の低スイッチング損失動作に適合するには、ゲートドライバは、SiC MOSFET のゲート静電容量に打ち勝つだけの高出力電流 / 電圧を高速スルーレートで供給できなければなりません。下図のスコープ波形キャプチャは、ACPL-W346 ゲート駆動フォトカブラによる、SiC MOSFET ゲートでの 20V の高速立上がり / 立下がり時間信号プロファイルです。この高速立上がり / 立下がり時間の信号は、SiC MOSFET の効率的なスイッチング動作に必要不可欠です。

図 2 : ACPL-W346 SiC MOSFET Gate Signal Profile

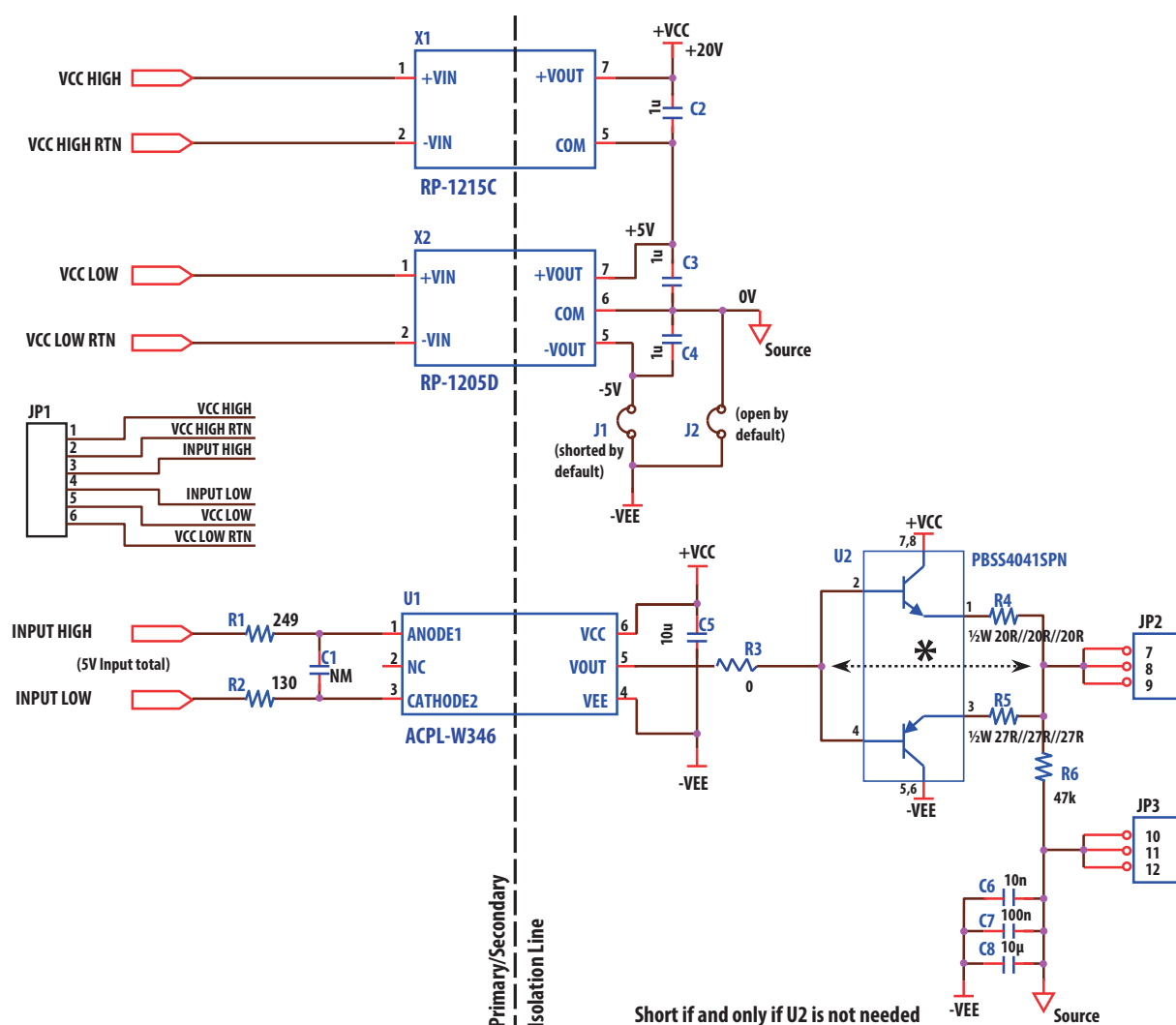


ACPL-W346 はベーシック（機能）ゲート駆動フォトカブラです。高 DC バス電圧で SiC MOSFET を絶縁し、駆動するために使用されます。レール・ツー・レール出力から最大 2.5A の電流を出力します。

ACPL-W346 ゲート駆動フォトカブラの特長はその速度で、このクラスでは業界最速レベルです。最大伝達遅延は 120 ns、標準立ち上がり / 立ち下がり時間は約 10 ns です。

出力誤作動が生じないように、高周波動作時の高過渡ノイズを分離するには、100 kV/ μs という非常に高い同相除去 (CMR) 性能が必要です。ACPL-W346 ゲート駆動フォトカブラは、外付けバイポーラ電流バッファとの組み合わせにより、高速スイッチング、高電圧と高駆動電流を出力できます。この組み合わせによって、SiC MOSFET のゲートを、効率良く確実にターンオン / オフすることができます。以前の (SiC) リファレンス駆動デザインでは、専用 MOSFET ドライバと独自回路が使用されていました。旧バージョンのリファレンス・デザインと比べると、ACPL-W346 ゲート駆動フォトカブラと市販の汎用バイポーラ電流バッファは、容易に使用でき安価なゲート駆動ソリューションです。次の図は、ACPL-W346 と Cree SiC MOSFET のリファレンス・デザインを示しています。

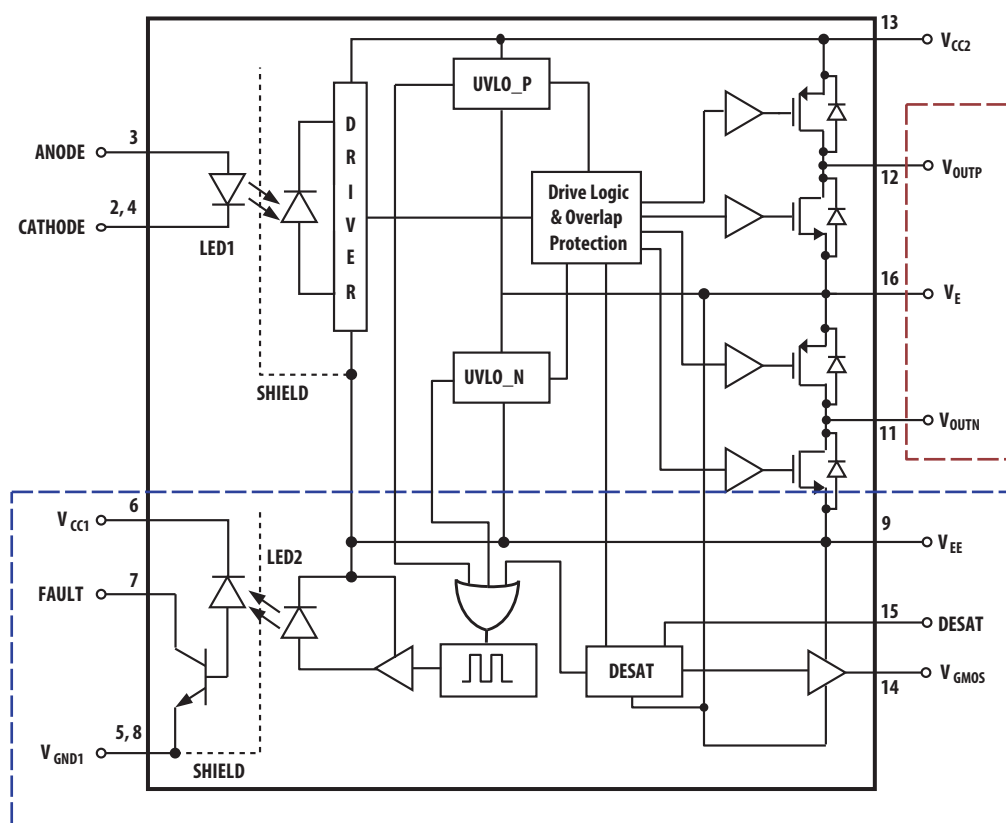
図 3 : ACPL-W346 and Cree SiC MOSFET Reference Design



SiC MOSFET の駆動と保護

ACPL-339J は、単一のゲートドライバで SiC MOSFET を絶縁、駆動、保護できる「スマート」ゲート駆動フォトカブラです。次の図では、SiC MOSFET 短絡検出およびフォルト・フィードバック機能ブロックが青色の破線で囲まれています。

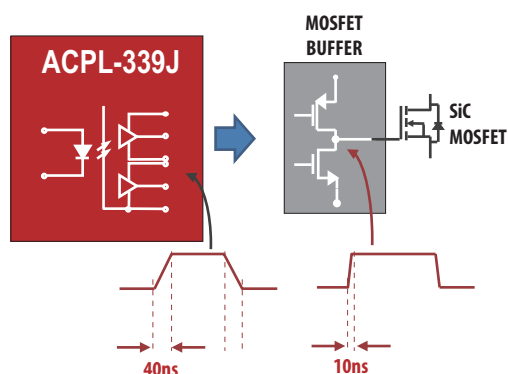
図 4 : Functional Diagram of the ACPL-339J Gate Drive Optocoupler



赤色の破線で囲まれた領域は、ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラのデュアル出力を示しています。これは、MOSFET バッファを利用可能にするために独自に設計された業界初の機能です。デバイスの最小出力ピーク電流は 1A で、ハイサイドとローサイドの両方の外付け MOSFET バッファ・ステージを駆動するために最適化されています。更に、MOSFET バッファ・ステージのクロス・コンダクション（貫通）を防ぎ、スイッチング損失を最小化するアクティブ・タイミング・コントロール回路が内蔵されています。

MOSFET バッファ（PMOS と NMOS で構成される）を使用する主な理由は、それらが電圧制御デバイスだからです。MOSFET の出力は、入力しきい値電圧（通常 1V）を超えると、非常に高速にスイッチングできます。このことから、MOSFET バッファのレベル・スイッチング速度は、次の図に示すとおり、その前段のゲート駆動フォトカプラ・ステージのレベル・スイッチング速度とは無関係です。

図 5 : MOSFET バッファによる高速スイッチング時間の実現



次の図のスコープ波形キャプチャは、ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラによる、SiC MOSFET ゲートでのバイポーラ高速立上り / 立下り時間の信号プロファイルです。バイポーラ立上り / 立下り時間の信号は、SiC MOSFET の効率的なスイッチングに必要不可欠です。

図 6 : ACPL-339J および MOSFET バッファによる SiC MOSFET ゲート信号プロファイル

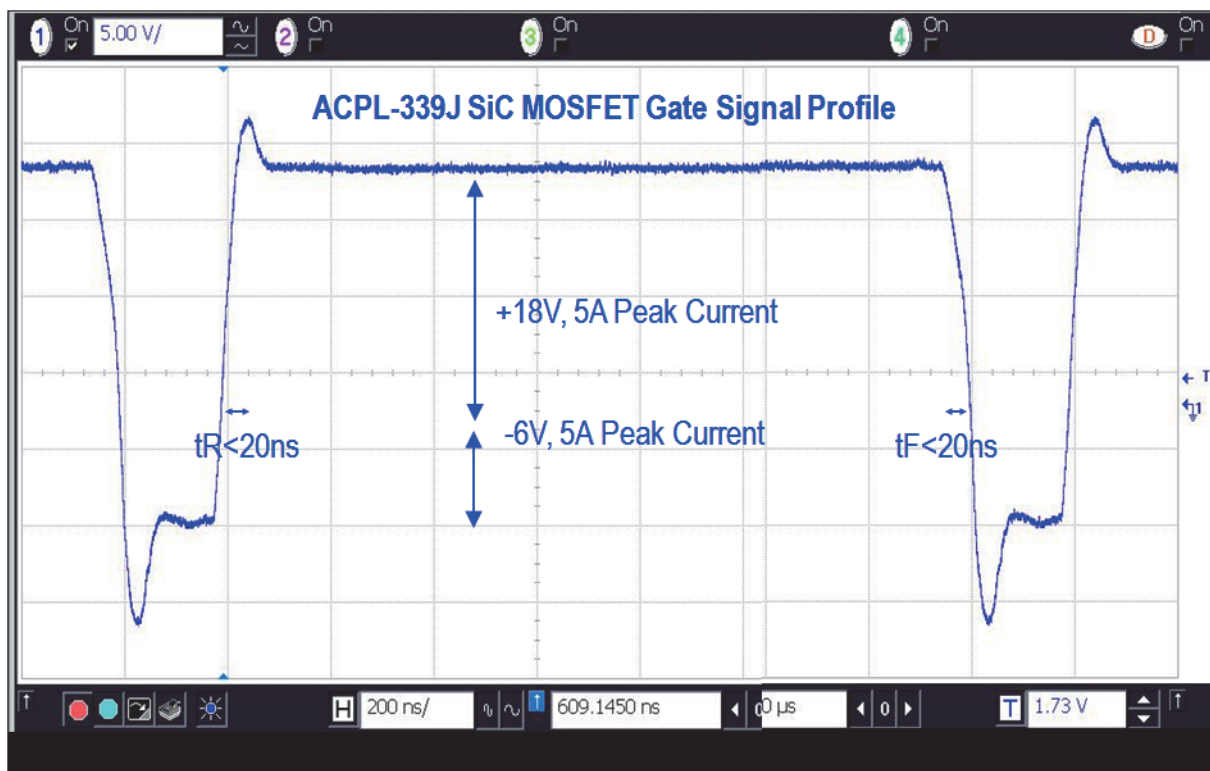
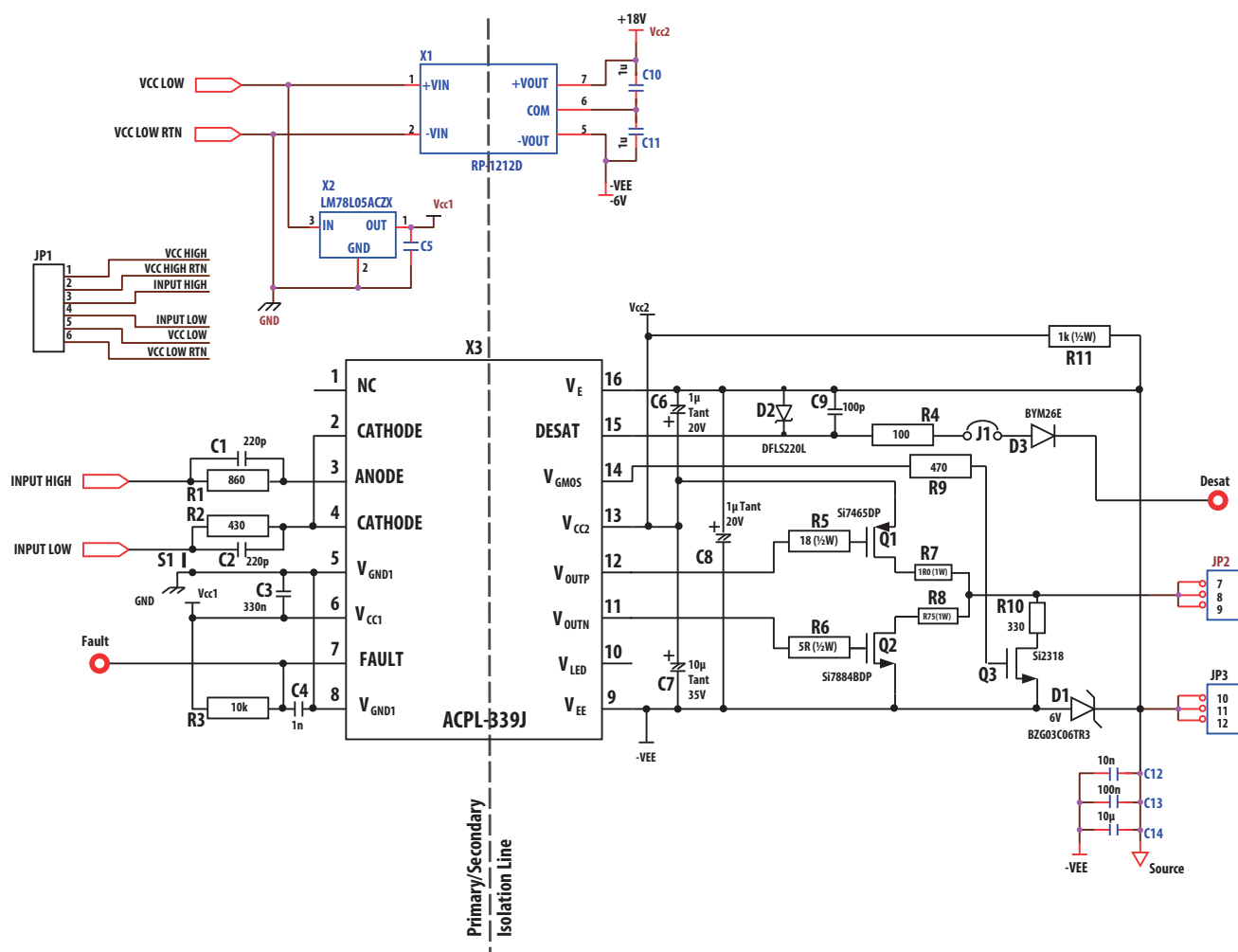


図 7 : ACPL-339J および Cree SiC MOSFET のリファレンス・デザイン

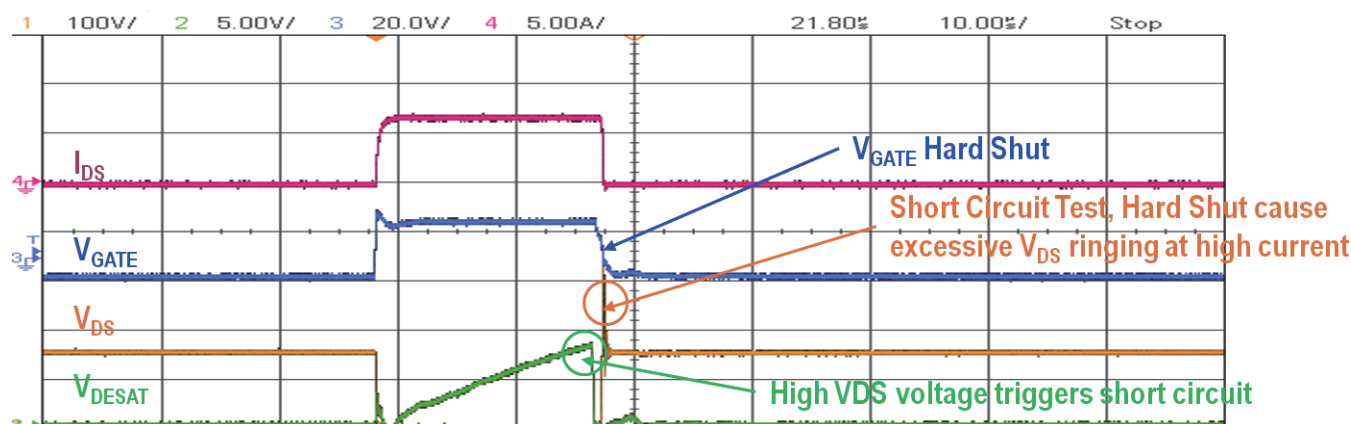


短絡保護を行うため、通常動作時に、ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラは SiC MOSFET のドレイン - ソース間電圧を監視しています。短絡が発生すると、大電流が SiC MOSFET を通って流れ、ドレイン - ソース間電圧が急上昇します。一たび ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラのしきい値 (8V) を超えると、短絡障害が認識され、ソフト遮断を開始します。ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラの VGMOS ピンは外部トランジスタをオンにして、SiC MOSFET のゲートをゆっくり放電させ、ソフト遮断を実行します。絶縁されたフィードバック・パスを通じてコントローラに障害をレポートし、短絡保護プロセスが完了します。

SiC MOSFET が短絡中に突然遮断されると、高過負荷電流に寄生誘導電流が加わり、非常に高いオーバーシュート電圧が生じる可能性があります。この高いオーバーシュート電圧は、SiC MOSFET のブレイクダウン電圧を超える場合があります。このような損害をもたらすオーバーシュート電圧を最小化するために、ACPL-339J ゲート駆動フォトカプラは、短絡を検出すると、ソフト遮断を実行します。SiC MOSFET のゲート電圧は、オフ・レベルの状態まで、ゆっくり引き下げられます。オーバーシュート電圧を低減するためのソフト遮断の程度は、外部 MOSFET と抵抗 (図 7 の Q3 と R10) により調整できます。

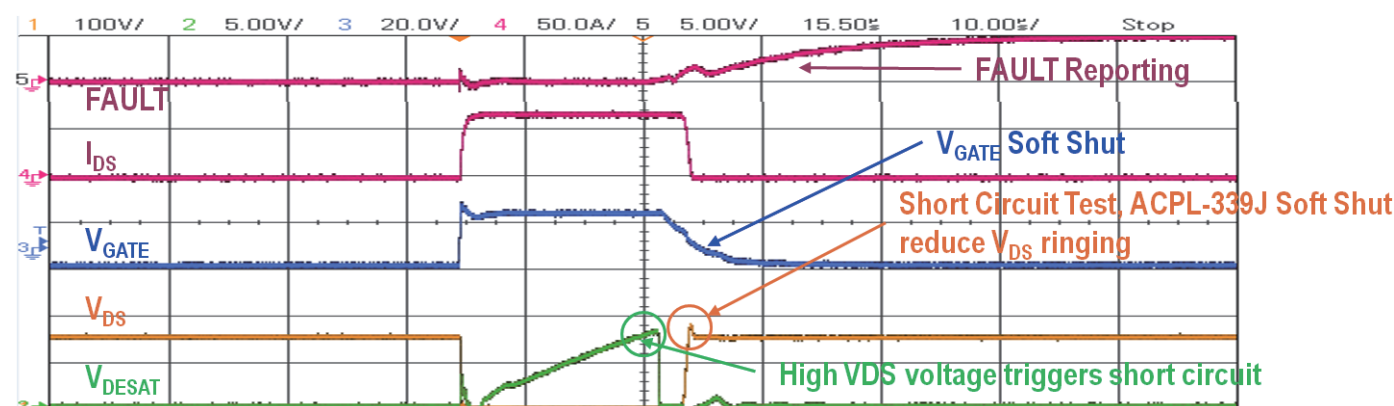
次の図は、短絡中にハード（または、突然の）遮断を行った際に、SiC MOSFET のドレイン - ソース間に発生する高いオーバーシュートおよびリングング電圧を示しています（実験中の SiC MOSFET の損傷を防ぐため、バス電圧を低くしています）。

図 8：高電流短絡中のハード遮断による過大な V_{DS} リンギング



次の図は、短絡検出が働き、ゲートが「ソフトに」遮断されることにより、高いオーバーシュート電圧が抑制される様子を示しています。

図 9：高電流短絡中にソフト遮断により過大な V_{DS} リンギングの発生を防止



関連ドキュメント

- Dr Scott Allen, "Silicon Carbide MOSFETs for High Powered Modules," Cree Inc., March 19, 2013.
- Jimmy Liu, Kin Lap Wong, Scott Allen, John Mookken, "Performance Evaluations of Hard-Switching Interleaved DC/DC Boost Converter with New Generation Silicon Carbide MOSFETs," Cree Inc.
- "SiC Market 2013," I-Micronews, May 25 2013.
- Alexandre AVRON, "Overview of Wide Band Gap semiconductors in power electronics," YOLE Développement, April 17, 2013.
- "ACPL-P346 and ACPL-W346 2.5 Amp Output Current Power & SiC MOSFET Gate Drive Optocoupler with Rail-to-Rail Output Voltage in Stretched SO6 Package," Broadcom, AV02-4078EN.
- "ACPL-339J Dual-Output Gate Drive Optocoupler Interface with Integrated DESAT Detection, FAULT and UVLO Status Feedback," Broadcom, AV02-3784EN.

Broadcom、パルス・ロゴ、Connecting everything、Avago Technologies、Avago、および A ロゴは、アメリカ合衆国、他の国々および / または EU における Broadcom および / または関連会社の商標です。

Copyright © 2011–2019 Broadcom. All Rights Reserved.

用語「Broadcom」は、Broadcom Inc. および / またはその子会社を指します。詳細は、www.broadcom.com をご覧ください。

Broadcom は、信頼性、機能または設計を改善するために、本書の製品またはデータを通知なしに変更する権利を留保します。Broadcom によって提供される情報の正確さと信頼性には細心の注意を払っています。しかしながら、Broadcom は、この情報の適用または使用、あるいは本書に記載された製品または回路の適用または使用から生じるいかなる責任も負わず、特許権や他の権利によるいかなるライセンスも譲渡しません。