

SiCパワーモジュール

アクティブミラークランプによる誤点弧対策

SiCパワーモジュールを使用する事でスイッチング損失を削減できる事から IGBT モジュールではできない高周波駆動が可能になり、コイル等の受動部品やヒートシンクの小型化が可能になります。しかしスイッチング速度を速くできる一方で、ノイズや誤動作に対する対策や、短絡保護への対策などに注意が必要です。本アプリケーションノートではスイッチング速度が速くなることで起こる誤点弧についての対策と効果を紹介します。

誤点弧の発生原理と対策

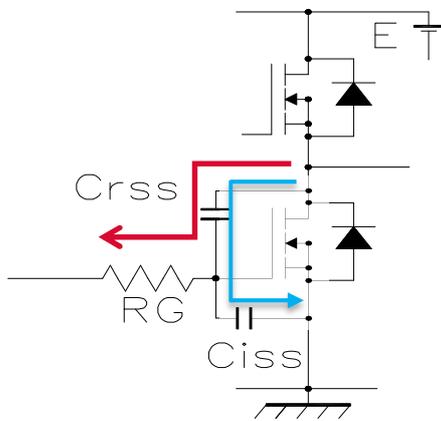


Figure 1. 誤点弧の発生原理

誤点弧が起きる様子を Figure 1. で示します。ハーフブリッジにおいてハイサイドの MOSFET がターンオンする際、ローサイドの MOSFET の還流ダイオードに流れていた順方向電流が逆回復し、同時にローサイドのドレインソース間電圧が上昇します。この時に発生する dV/dt はローサイド MOSFET の帰還容量 C_{rss} を介して過渡的なゲート電流となり、この電流がゲート抵抗を流れる事で(赤矢印)ローサイドのゲート電圧は上昇します。この電圧が MOSFET の閾値を大きく超える場合ローサイド MOSFET は誤点弧され、微短絡状態となります。この状態では想定よりもスイッチング損失が大きくなりチップ温度が上昇し熱破壊の原因となります。ただし C_{rss} を通過する電流の一部は MOSFET の入力容量 C_{gs} を通過するため(青矢印)、充電容量 $C_{iss} (=C_{gs}+C_{rss})$ が C_{rss} に対して大きい場合は、ゲート電圧の上昇は小さくなります。しかし Figure 2. に示すように機種によって C_{rss}/C_{iss} 容量の比率は異なり、誤点弧のしやすさも変わってきます。Table 1. に示すケースタイプモジュールでは比較的誤点弧が発生しやすいため、特に注意が必要です。

Table 1. 誤点弧が発生しやすいケースタイプモジュール

Part-No	電圧(V)	電流(A)
BSM180D12P3C007	1200	180
BSM300D12P3E005		300
BSM400D12P3G002		400
BSM600D12P3G001		600

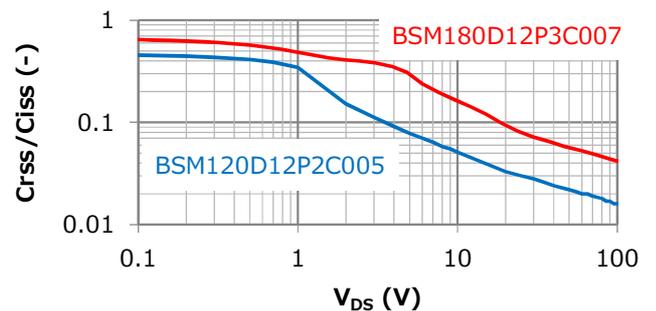


Figure 2. 寄生容量比率 C_{rss}/C_{iss}

誤点弧の対策を下記に示します。しかしどの方法にもデメリットが存在します。本アプリケーションノートではスイッチングへの影響が小さく、かつ誤点弧効果が高いアクティブミラークランプによる対策とその効果を示します。

Table 2. 誤点弧の対策とデメリット

対策	デメリット
スイッチングオフ時にゲートに負バイアスを印加する	負バイアス印加用の電源が必要になる、ゲート電圧の定格を超えてしまうことがある
ゲート・ソース間に容量を追加する	スイッチングが遅くなる
ゲート・ソース間にトランジスタを追加する(アクティブミラークランプ)	トランジスタ用の制御信号が必要
ゲート抵抗を大きくする	スイッチングが遅くなる

アクティブミラーランプ回路

ローサイド MOSFET のゲート・ソース間にトランジスタ(以下ミラーランプ用 MOSFET)を挿入することで、スイッチングオフ時のゲート・ソース間インピーダンスを減少させることができます。アクティブミラーランプ回路は Crss を通過する電流によるゲート電圧上昇の防止を目的とする回路です。ゲート OFF 時のみミラーランプ用 MOSFET を ON させる必要があるため、専用の制御信号が必要となります。下記に示すロームのゲートドライバは、ミラーランプ制御機能を搭載しているため、簡単にアクティブミラーランプ回路を形成できます。ロームには、ミラーランプ用 MOSFET を内蔵したタイプと、外付け MOSFET を使用するタイプの 2 種類のゲートドライバを用意しております。Table 3. にロームのゲートドライバ IC(GDIC)がいずれに対応するか示します。

Table 3. ロームのゲートドライバ IC とミラーランプの種類

Part-No	ミラーランプの種類
BM60052AFV-C	IC 内蔵 MOSFET
BM60054AFV-C	IC 内蔵 MOSFET
BM60055AFV-C	IC 内蔵 MOSFET
BM6101FV-C	外付け MOSFET
BM6102FV-C	外付け MOSFET
BM6104FV-C	外付け MOSFET

次にそれぞれのゲートドライバを使用した際の回路例を Figure 3. に示します。アクティブミラーランプ回路を使用しない場合は、ゲート抵抗とプッシュプルトランジスタを介すためインピーダンスが大きくなります（赤字配線）。一方ミラーランプ用 MOSFET を内蔵した GDIC を使用することでミラーランプ用 MOSFET のオン抵抗のみとなりインピーダンスを下げることができます（青字配線）。また、外付け MOSFET を使用するタイプのゲートドライバを使用した回路の例を Figure 4. に示します。外付けの MOSFET をゲート・ソース間の近くに配置することで、配線のインピーダンスを下げるすることができます。

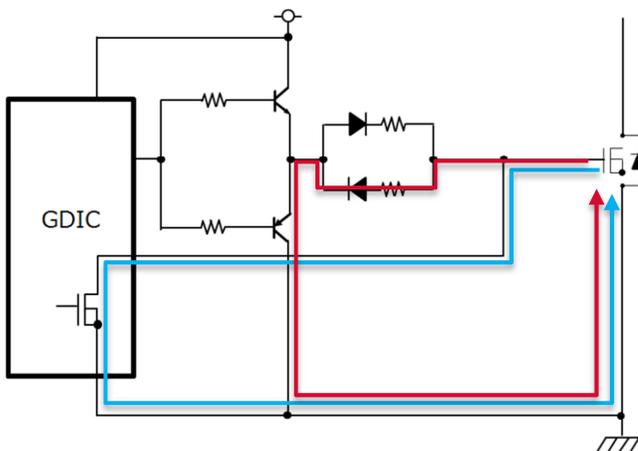


Figure 3. GDIC 内蔵 MOSFET を使用した回路

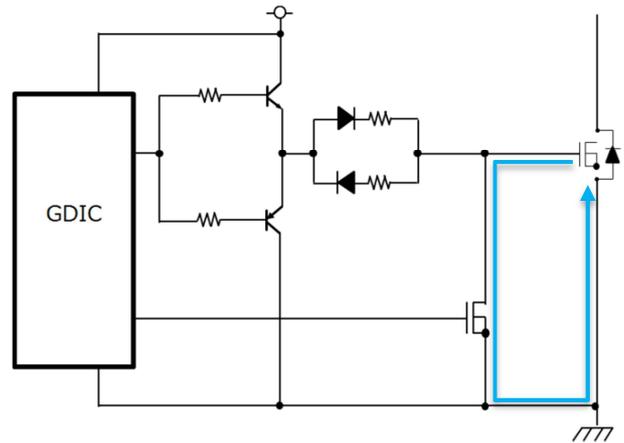


Figure 4. 外付け MOSFET を使用した回路

なおアクティブミラーランプとして用いる外付け MOSFET はロームの RF6E065BNTCR をおすすめします。

アクティブミラーランプの効果

例えば、ローム SiC パワーモジュール BSM600D12P3G001 用のゲートドライバ基板 (BSMGD3G12D24-EVK001) には以下の機能や特長があります。

(<https://www.rohm.co.jp/power-device-support>)

- ・ミラーランプ内蔵トランジスタ搭載
- ・絶縁電源内蔵
- ・短絡保護機能
- ・電圧低下保護
- ・過電圧保護
- ・フォルト信号
- ・温度モニター

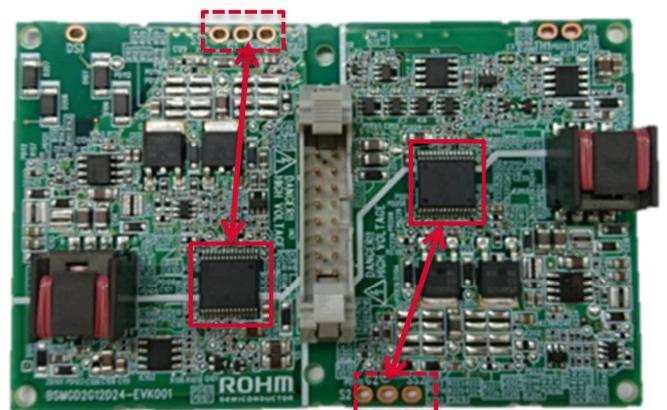


Figure 5. BSMGD3G12D24-EVK001

Figure.5 に示すロームのドライブ基板(Fig .5 Board)は前頁に記されたように多くの機能を有するためドライブ IC にクランプ機能が内蔵されたものを使用しています。Fig .5 Board にあるミラーランプ回路の効果などの程度なのか確認した結果を示します。Figure 6. に示す回路で、BSM600D12P3G001 を試験サンプルとし Low Side (LS)の MOSFET をスイッチングさせるダブルパルス試験を実施しました。High Side (HS)は R_{G_EXT} を接続し、ボディダイオードと SBD による転流動作のみで使用しています。

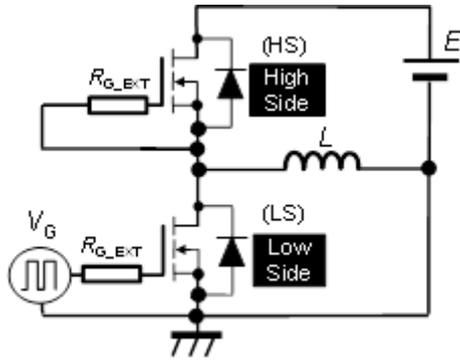


Figure 6. ダブルパルス試験回路

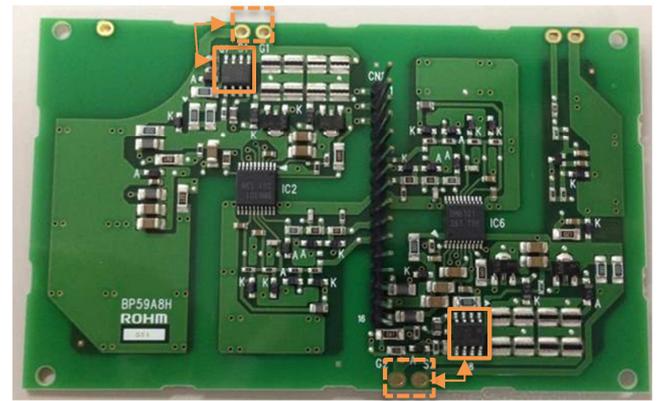


Figure 8. ミラーランプ機能がモジュールのゲート端子直近にあるゲートドライブ基板

Fig .5 Board を使用する事でミラーランプ回路の効果が得られますが、クランプ用 MOSFET をモジュールのゲート端子直近に配置できると、更に良くなります。Fig .5 Board の部品配置では実際に囲われたミラーランプ機能付きゲートドライブ IC と点線で囲われた端子接続部との位置が遠くなっています。それに対して Figure 8. に示されるような基板のようにクランプ用 MOSFET を直近に配置すると、更に効果が高くなります。

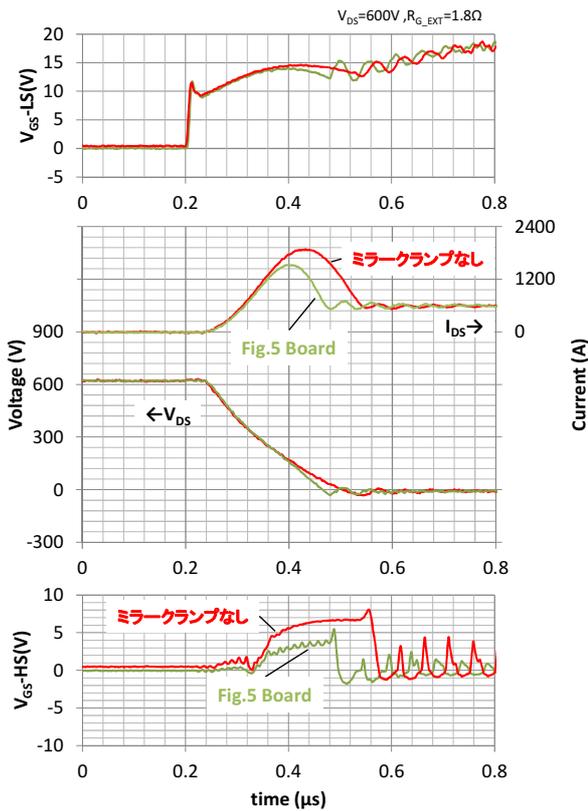


Figure 7. ターンオン波形

Figure 7. はターンオン時のドレイン-ソース電圧 V_{DS} とドレイン電流 I_{DS} の波形およびゲート・ソース電圧 V_{GS} を示しています。ハイサイド $V_{GS}(V_{GS-HS})$ の上昇はミラーランプの効果によりミラーランプが無い場合の 6.8V から 4V へ減少しており、 I_{DS} のサージがピーク値で 22% 減少。Fig .5 Board を使用する事で誤点弧を抑制する事ができます。

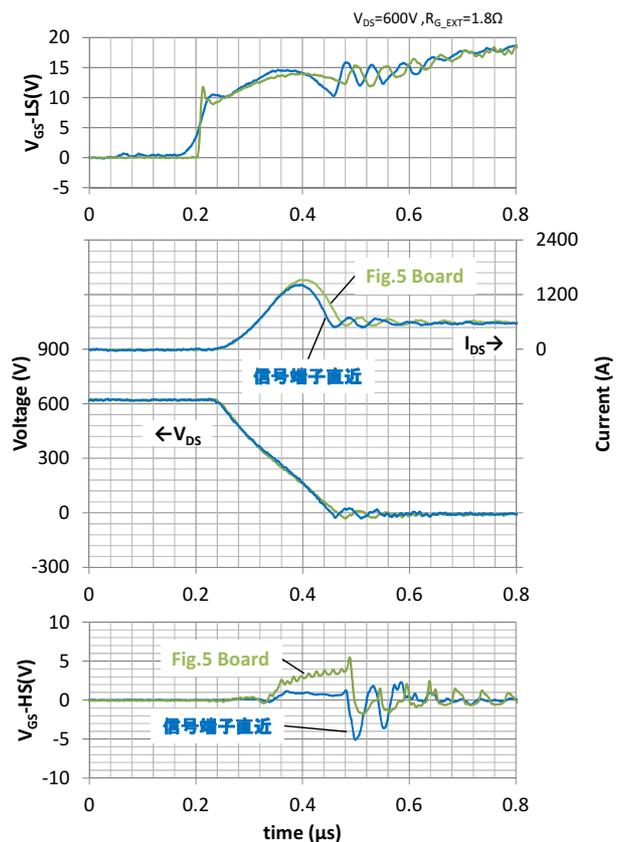


Figure 9. ターンオン波形

ミラーランプ用 MOSFET の位置による波形の比較を Figure 9. に示します。ハイサイド $V_{GS}(V_{GS-HS})$ の上昇は Fig .5 Board 使用時の 4V から 1V へ減少しており、 I_{DS} のサージの減少は約 4% します。

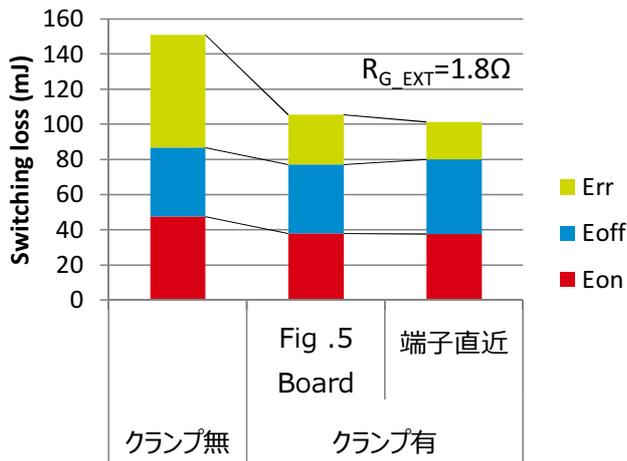


Figure 10. ミラークランプ有無による損失の比較

Figure 10.にミラークランプ条件を変えた場合の損失をグラフに示します。Fig .5 Board のミラークランプ機能によりターンオン損失 Eon を 20%、リカバリー損失 Err を 55%削減できます。端子直近型であれば Err を更に 10%削減できます。以上の結果から Fig .5 Board でも十分ミラークランプの効果を得る事ができますが、クランプ用 MOSFET をモジュールのゲート端子近くに配置する事でより高い効果が得られます。

まとめ

パワーモジュールのドライブ回路は、短絡、誤点弧などに注意した設計が必要となります。これらの対策としてゲートドライブ回路にアクティブミラークランプ回路を使用することを推奨いたします。2 ページ目に掲載した、SiC モジュール用ゲートドライブ基板の詳細については、別途お問い合わせ下さい。このアプリケーションノートが SiC モジュールを使用するための一助になることを期待します。

以上

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>