

ゲート-エミッタ間電圧がターンオン損失と短絡耐久能力に及ぼす影響

AND9072/D

はじめに

本アプリケーション・ノートでは、ゲート-エミッタ間電圧がIGBTデバイスの性能に及ぼす影響のいくつかについて説明します。MOSFETやBJTとは異なり、IGBTのゲート-エミッタ間電源電圧は、デバイス性能により大きな影響を及ぼします。ゲート-エミッタ間電圧の大きさは、デバイスのターンオン損失と、短絡耐久能力に影響します。

背景

MOSFETとIGBTには、ゲート端子を通じてデバイスのオン/オフを切り替えるという類似点がありますが、IGBTをドライブするときに考慮する必要がある動作上の違いも存在します。ゲート電圧が特定のレベルを上回った場合、代表的なMOSFETのスイッチング動作がその電圧から受ける影響は最小限にとどまります。その結果、MOSFETのドライブ回路でゲート電圧に制約を設け、合計ゲート電荷(Q_G)値を最小化することに意味があります。一方、IGBTの場合はこれ以外の考慮事項が存在します。したがって、MOSFETからIGBTに移行する場合、以下の考慮事項に基づいて、最適なゲート電圧レベルを再評価する必要があります。

IGBTのターンオン・スイッチング損失に関する考慮事項

IGBTのV_{GE}値を選択する際に考慮する必要がある主要分野が3つ存在します。

1. V_{CE}の変動 - MOSFETは比較的低いゲート電圧でチャンネルが最大に拡大される(大半のMOSFETの出力特性で、V_{GS}が10 Vを上回った後はゲインは最小)のに対し、IGBTの出力/飽和特性はV_{GE}電圧に継続的に依存する傾向を示します。このことを的確に図示しているのが、IGBTのデータシートから抜粋したFigure 1です。曲線が示すように、コレクタ電流値が同じ場合、V_{GE}値が上昇して11 Vを上回ると、飽和電圧(V_{CE})に大きなゲインが見られます。事実、V_{GE}が上昇して13 Vを上回ると、より大きい電流はサポートできません。大電流アプリケーションの場合、V_{CE}の改善がわずか0.1 Vでも、コレクタ電流10 Aごとに1 Wの省電力につながります。

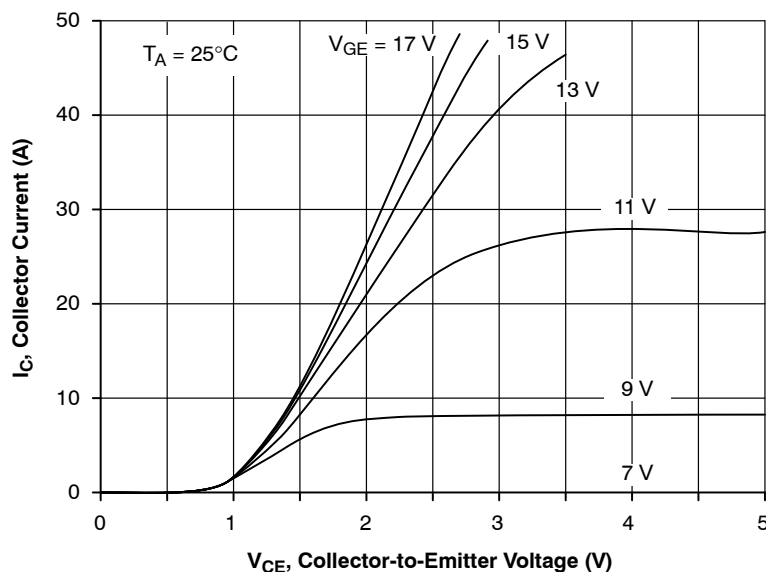


Figure 1. Output Characteristics of a 15 A, 600 V IGBT

2. ゲート電荷に関する考慮事項・高電圧アプリケーションでフル・ターンオンを実現するには、MOSFETドライバとIGBTドライバの両方ともプラトー電圧を上回る電圧を供給する必要があります。プラトー電圧は、デバイスでのミラー効果と同等の効果を克服するのに必要な値です(MOSFETで電荷 Q_{GD} 、IGBTで電荷 Q_{GC} が一定電圧であると想定した場合)。プラトー電圧をFigure 2に示します。ここに示すとおり、代表的なMOSFET (5 V付近)よりも代表的なIGBTでプラトー電圧が高くなっています(10 V付近)。また、IGBTのプラトー電圧はコレクタ電流の関数としてより大きな変動を示します。その結果、IGBTの V_{GE} 値を、代表的なFETの V_{GS} 値より高い値に設定することに意味があります。ただし、どちらの状況でも、ゲート電圧が上昇してプラトー電圧を上回ると、スイッチング・サイクルごとに充

放電する必要がある合計ゲート電荷の値が増加します。ゲート電圧と電荷 Q の関係を示すグラフを、図のように3つの領域に区分すると、最初のセクションは Q_{GE} セクションです。これは原点からプラトー領域に達するまでの区間です。2番目のセクションは Q_{GC} で、プラトー領域を表します。最後に、3番目の領域での電荷は V_{GE} の実際の値に比例しています。この例では、 V_{GE} 値がプラトー電圧を超えて2 V高くなるたびに、 Q_{GC} 値が約10 nC増加することになります。これによって、ゲート電荷が増加し、デバイス内およびドライブ回路内の消費電力が大きくなると同時に、 V_{CE} 値が小さくなる結果となります。この意味で、 V_{GE} 値を常にプラトー電圧より高い値に維持するが、過度に高くしないことが推奨されます。

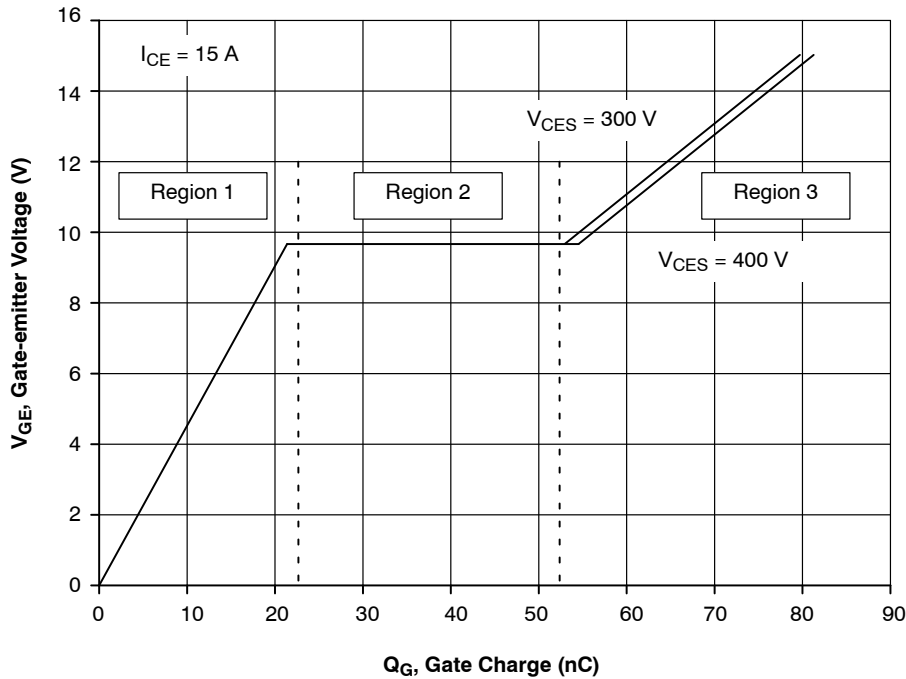


Figure 2. Gate Voltage vs. Gate Charge Characteristics (15 A, 600 V IGBT)

3. 遷移時間に関する考慮事項・上記の要素に加えて、デバイスのターンオン時間も V_{GE} 値によって決まります。 V_{GE} 値が与えられると、利用可能なドライブ電流は R_G 値に反比例します。一方、 R_G を固定し、 V_{GE} を上昇させると、より大きい電流が流れ、電荷の Q_{GE} セクションが縮小されます。これにより、スイッチング間隔も短くなり、ターンオン・エネルギーが大幅に減少します。ハード・スイッチング・アプリケーションでのターンオン/ターンオフ・エネルギーは、コレクタ電流とコレクタ電圧の遷移によって支配されることに注意してください。ICドライバの多くは電流ドライブ能力

が規定されているため、 V_{GE} 値を高くしても、これらのドライバを使用するアプリケーションには大きな影響を及ぼしません。

Figure 3に示すように、 V_{GE} 値が12 Vを上回るとターンオン・エネルギー E_{on} は大幅に下落します。ただし、 V_{GE} 値が15~20 Vの間にある場合、 E_{on} に大きな違いはありません。この傾向は電流範囲全体に当てはまります。Figure 4に示すように、 R_G 値を変化させた場合も、 E_{on} 値に大きな違いが生じます。これらの図に基づいて、 V_{GE} 値が高いほど(15~18 Vの範囲)、また R_G 値が低いほど、IGBTのドライブにとって最良の組み合わせであると推測できます。

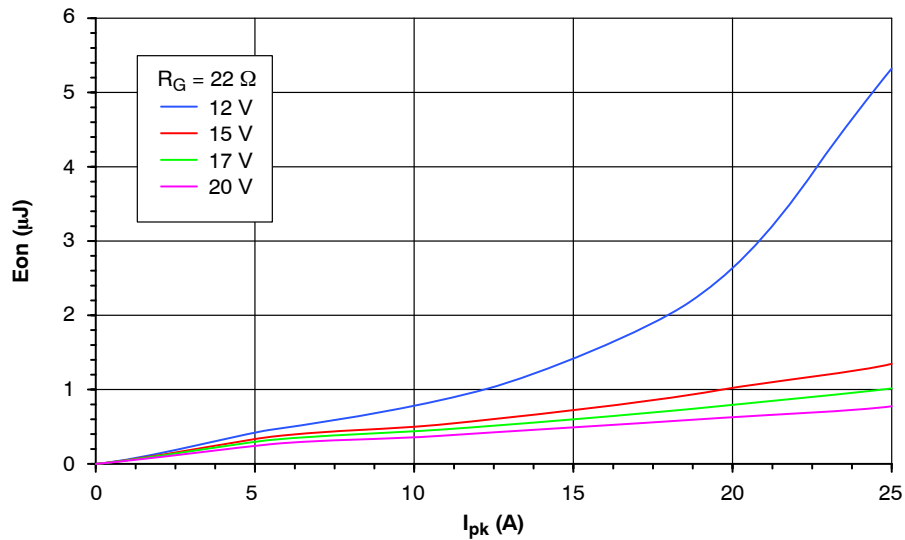


Figure 3. Turn-on Energy Characteristics (Fixed R_G and varying V_{GE})

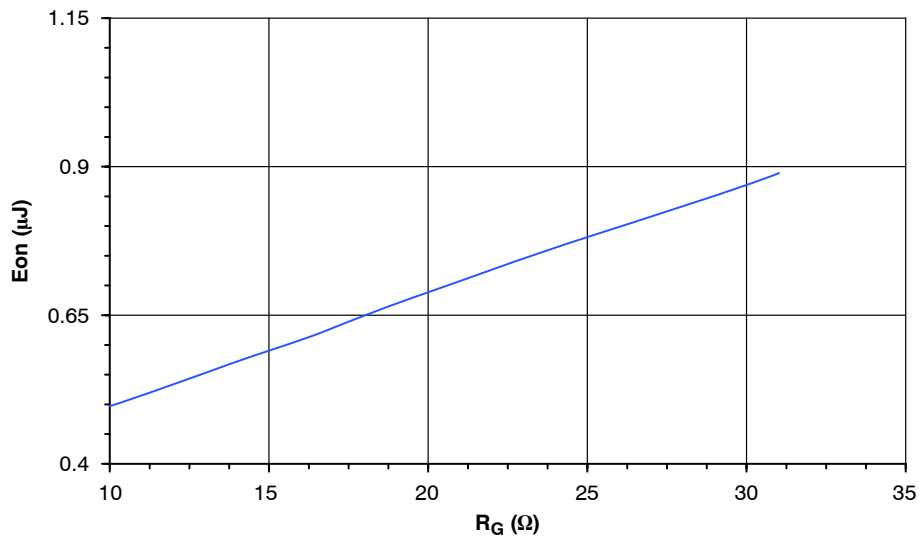


Figure 4. Turn-on Energy Characteristics (Fixed V_{GE} and varying R_G)

上記の3つの考慮事項に基づき、 V_{GE} 値がIGBTのスイッチング性能に及ぼす影響に関して、次の重要な要約を導くことができます。

- FETドライブ回路に比べて、IGBTではより高いドライブ電圧 V_{GE} (15 V前後)を使用するのが適切です。
- 高い電圧は多くの点(飽和や遷移時間など)で役立ちますが、高すぎるとゲート電荷要件が高くなります。
- ドライブ電圧の過渡がIGBTを損傷する事態を防止するために、絶対最大値(標準値は ± 20 V)からある程度のマージンを確保する必要があります。

短絡障害時の動作

インバータおよびモータ・ドライブ・アプリケーションにおける大きな懸案は、短絡障害状態時の耐久能力です。短絡障害が発生している間は、デバイス両端に電源電圧が印加され、ゲート電位は最大動作値に達しています(Figure 5を参照)。IGBTにはゲインが大きいという特性があるので、コレクタ電流は何らかの不確定値まで上昇し、その値はゲート-エミッタ電圧により制限されます。この期間を通じて、デバイス両端に大きなエネルギーが加えられますが、そのエネルギーがデバイスの処理能力を上回る場合は、熱ブレイクダウンによりデバイスは破壊されます。耐久性が低いデバイスの場合、大きな電流が流れると寄生NPNバイポーラ・トランジスタがターンオンし、デバイスのラッチアップを引き起こし、ゲート制御機能は失われます。

AND9072/D

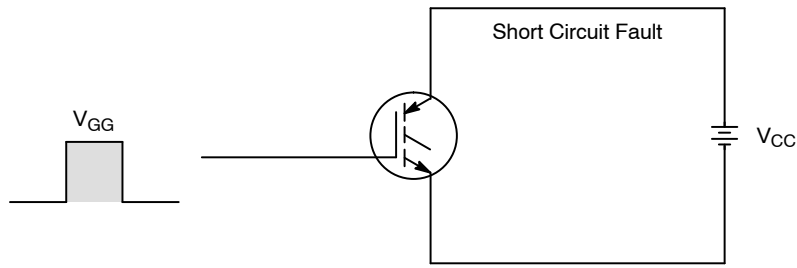


Figure 5. Equivalent Short Circuit Condition

IGBTは、ホット・スポット形成のためBJTに比べて2次ブレイクダンの影響を受け難いので、デバイスに加えられるエネルギーが許容可能な値以下に維持されている場合、短時間の短絡状態に耐えることができます。IGBTは一般に特定条件下での短絡耐久時間(標準値は10 μ s)が規定されています。この耐久時間により、外部回路をアクティブにし、短絡条件を取り除くための介入が可能になることが期待されます。

ある程度の時間、デバイスを短絡条件から保護するための様々な方法があります。短絡耐久性を実現する最も効果的な方法は、デバイスに固有の電流検

知機能を内蔵することです。ただし、ほとんどの場合これは有効な選択肢ではありません。短絡耐久性を高める別の手法は、デバイスで短絡が観察されたときはゲート電圧を下げることです。Figure 6のデータは、ゲート電圧と短絡電流の関係、ゲート電圧と短絡耐久期間の関係を示しています。Figure 6に示すように、ゲート電圧が低い場合は電流を小さな値に制限し、短絡耐久期間を延長します。したがって、より堅牢性の高い特性と長い短絡耐久期間が必要な場合、スイッチング損失に関連するゲインとのトレードオフを考慮し、アプリケーションで V_{GE} 電圧を低減することが有効である可能性があります。

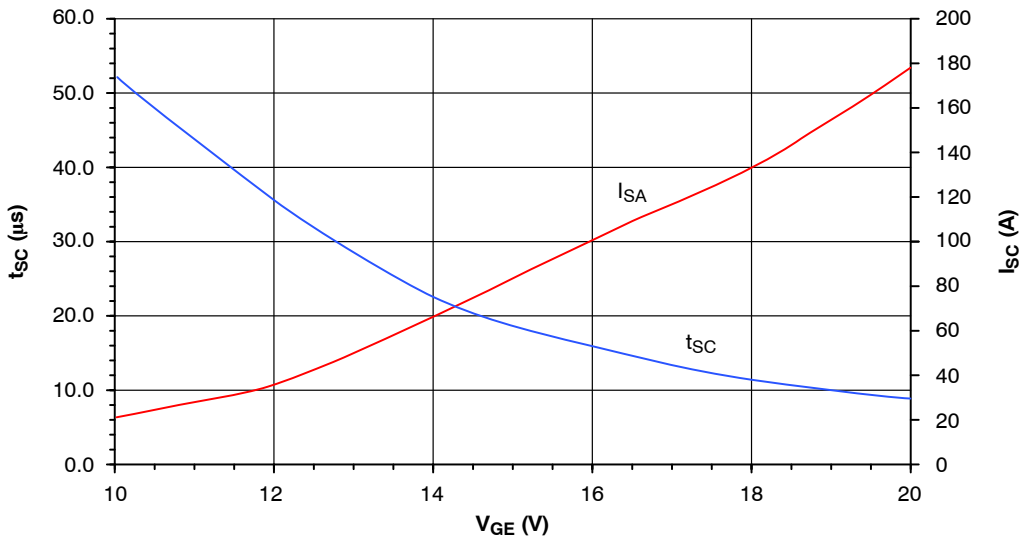


Figure 6. Short Circuit Response of IGBT

まとめ

IGBTは、大電流・高電圧デバイスであり、MOSFETに比べて特定の利点があります。IGBTは大電力アプリケーションで使用されるので、寿命に関する考慮事項(堅牢性)と効率(低損失)の両方が重要です。本アプリケーション・ノートで説明したように、デバイスのターンオン損失を低減するために、

ゲート-エミッタ間電圧の大きさを最適化することができます。一方で、ゲート-エミッタ間電圧を高くすると、デバイスの短絡耐久性が低下することも理解する必要があります。これら2つの関係を使用し、アプリケーションの具体的な要件も考慮して、設計者は設計要件を満たす、最良の電圧値(およびIGBT製品)を選択することができます。

onsemi, **Onsemi**, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "**onsemi**" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. **onsemi** owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of **onsemi**'s product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. **onsemi** reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as-is" and **onsemi** makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does **onsemi** assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using **onsemi** products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by **onsemi**. "Typical" parameters which may be provided in **onsemi** data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. **onsemi** does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. **onsemi** products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use **onsemi** products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold **onsemi** and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that **onsemi** was negligent regarding the design or manufacture of the part. **onsemi** is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Email Requests to: orderlit@onsemi.com

TECHNICAL SUPPORT
North American Technical Support:
Voice Mail: 1 800-282-9855 Toll Free USA/Canada
Phone: 011 421 33 790 2910

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 00421 33 790 2910
For additional information, please contact your local Sales Representative