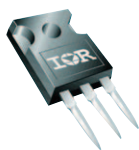


## こうして使おうパワー・デバイス

# 第4回 IGBT の賢い選び方



IGBTはMOSFETと並ぶ代表的なパワー・デバイスとして用いられていますが、MOSFETとは動作原理が異なり、データシートの見方にも大きな違いがあります。今回は、IGBTの品種を選択するときにポイントとなる定格や特性を中心として、IGBTのデータの見方、賢い選び方をご紹介します。

## IGBTの耐圧とブレイクダウン

一般に、パワー・デバイスの選択では耐圧、負荷電流、スイッチング特性を見ていくことになりますが、そのいずれについてもIGBTはMOSFETと違いがあります。

耐圧については、高耐圧向きのIGBT、低耐圧向きのMOSFETという傾向があります。製品でも、IGBTは600V、1200Vなどの高耐圧品が主です。MOSFETにも高耐圧品はありますが、12～300Vぐらいの低耐圧品が数多く製品化されています。

MOSFETは耐圧を上げようとするとオン抵抗が高くなり、損失が大きくなります。IGBTはコレクター・エミッタ間耐圧 $V_{CES}$ を高くしても伝導率変調によってオン抵抗が下がるので、高耐圧で低損失にできます。そのかわり、コレクター・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(on)}$ 分の損失があるため、低耐圧ではMOSFETほど低損失にできません。

耐圧を超える電圧を加えると、リーク電流が増加してブレイクダウンを生じる危険があります。IGBTでは、電気的特性としてコレクター・エミッタ間ブレイクダウン電圧 $BV_{CES}$ が規定されています。MOSFETは短時間のサージでリーク電流が小さければブレイクダウンしないアバランシェ耐量をもちますが、IGBTはアバランシェ耐量が低いので、短時間でも耐圧を超えないように注意が必要です。

また、IGBTの $BV_{CES}$ の値は25℃で定義されていて、正の温度係数をもちます。高温時には $BV_{CES}$ が高く

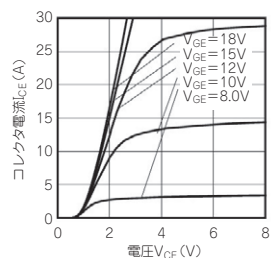


図1 IGBTの電流-電圧特性図( $T_j=25^\circ\text{C}$ ,  $t_p=80\mu\text{s}$ )

なるので安全側ですが、低温時には $BV_{CES}$ が低くなります。

## IGBTの電流定格

IGBTでもMOSFETでも、オン電流が大きいほど損失が増加し、発熱が大きくなります。どれぐらいのオン電流を流せるかはデバイス内部の接合温度で決まりますが、同じデバイスでもオン電流を連続して流すか間欠的に流すかによって発生する損失は変わります。また、損失が同じでも、温度環境やパッケージの熱抵抗によって接合温度は変わります。

IGBTでは連続コレクタ電流 $I_C$ 、パルス・コレクタ電流 $I_{CM}$ の絶対最大定格が規定されていますが、これらは特定の条件における値であり、いつもそれだけの電流が流せるわけではありません。実際には、熱抵抗 $\theta_{jc}$ と最大接合温度 $T_j$ 、動作時のケース温度 $T_c$ から許容される最大電流を計算します。

$T_c$ が高いほど最大電流は小さくなります。データシートに $I_C @ T_c = 25^\circ\text{C}$ と $I_C @ T_c = 100^\circ\text{C}$ の2種類の定格値が記載されている場合、 $T_c = 100^\circ\text{C}$ の方が実使用に近いと考えられます。

なお、連続コレクタ電流の許容値はIGBTのスイッチング損失や逆方向ダイオードの損失を考慮していないので、これらが大きくなるような用途では注意が必要です。

## IGBTのオン特性と短絡耐量

IGBTは、オン時にはバイポーラ・トランジスタと同様にコレクター・エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(on)}$ 分の電圧降下を生じるので、負荷電流(コレクタ電流 $I_C$ )が小さいときはMOSFETよりも損失が大きくなります。一方、オン抵抗が低く電流ドライブ能力が高いという特長をもち、負荷電流が大きくなっても損失はそれほど増えませんが、IGBTは高耐圧向きであるとともに、大電流向きのデバイスと言えます。

ただし、最近では機器の省エネ化のために、通常時

はなるべく小電流で運転して、必要ときに短時間だけ大電流を流すアプリケーションも増えてきました。IGBTはピーク電流時の損失を低くできますが、省エネ運転時にはMOSFETより損失が高くなり、トータルでは不利になる場合もあります。

IGBTは短絡耐量にも注意が必要です。出力側で短絡事故が発生した場合、一般に負荷や電源を保護するための遮断回路が働きます。IGBTはオン抵抗が低いので、遮断が働くまでの短時間でも過大電流が流れてIGBTが壊れてしまう危険があります。そこで、IGBTでは短絡耐量時間 $t_{SC}$ を規定しているものがあります。短絡耐量を高くすると損失も増加するので、一般には $t_{SC}$ は最大でも10 $\mu\text{s}$ 程度です。

産業用インバータなど汎用で使用される装置では高い短絡耐量が必要ですが、負荷回路を専用設計できる家電機器などでは $t_{SC}$ を短くできます。誘導負荷ではインダクタンスが短絡時の突入電流を抑えるので、短絡耐量なしのIGBTが使用できる場合もあります。

IGBTを駆動するゲート電圧 $V_{GE}$ は通常15V程度で、MOSFET(通常10V)より高めです。 $V_{GE}$ が低いと十分なオン電流が得られず、 $V_{CE(on)}$ も高くなってしまいます。

ただし、 $V_{GE}$ が高すぎると負荷短絡耐量が低下してしまいます。また、コレクター・エミッタ間が高耐圧のデバイスでも、ゲート・エミッタ間の耐圧 $V_{GE}$ は±20V程度と低いので、過大な $V_{GE}$ が加わらないようにする必要があります。

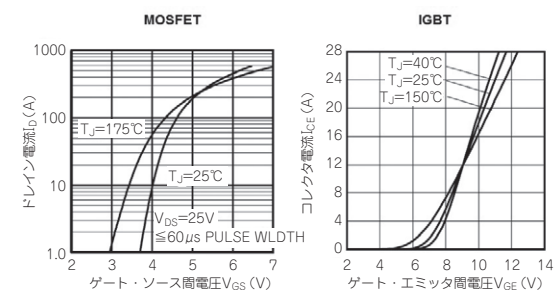


図2 IGBTとMOSFETのゲート電圧と電流の違い

## スイッチング損失とテール電流

IGBTはスイッチング速度がMOSFETよりやや遅いことからスイッチング損失に注意が必要です。

MOSFETのスイッチング損失はオフ→オン、オン→オフの遷移時に生じるので、 $t_{ON}$ 、 $t_{OFF}$ から損失を計算できます。IGBTの場合、遷移時の損失の他に、スイッチがターン・オフした後のテール電流による損失があり、 $t_{ON}$ 、 $t_{OFF}$ からスイッチング損失を見積もることができません。

IGBTはバイポーラ・トランジスタのように蓄積時間によるターン・オフの遅れがなく、スイッチング速度は比較的高速です。ただし、ターン・オン時にp型層からn型層に注入された正孔(少数キャリア)がターン・オフ時に回収されるため、オフになった後もわずかなテール電流が流れ続けます。この期間はIGBTのコレクター・エミッタ間電圧が最大になるので、電流は小さくても損失は大きくなります。IGBTのスイッチング損失は、テール電流の影響を含めた全スイッチング損失 $E_{ts}$ の値で評価します。

キャリア回収を高速化すれば、テール電流の持続時間が短くなってスイッチング損失が減りますが、そのかわり $V_{CE(on)}$ が高くなって伝導損失が増加します。IGBTでは、伝導損失とスイッチング損失がトレード・オフの関係です。

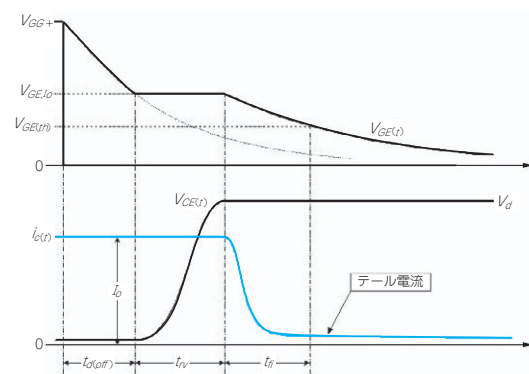


図3 テール電流の図

なお、逆方向ダイオード内蔵の品種では、ダイオードのスイッチング特性にも注意する必要があります。ただし、一般にはIGBTの特性に合わせて最適化した高速ダイオードを組み合わせているので、ダイオードの性能不足が問題になることはあまりないでしょう。

その点は、寄生ダイオードを逆方向ダイオードとして利用しているMOSFETよりも有利と考えられます。