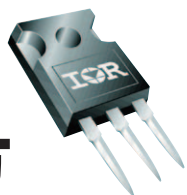


こうして使おうパワー・デバイス

第3回 IGBTの原理と使い方



IGBTは、ゲートに加える電圧で制御するところはMOSFETと同じで、電流がp型半導体とn型半導体の両方を流れるところはバイポーラ・トランジスタと同じです。そこから、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)という名称が付けられています。今回はこのIGBTについて、原理と使い方のポイントをご紹介します。

IGBTの原理と構造

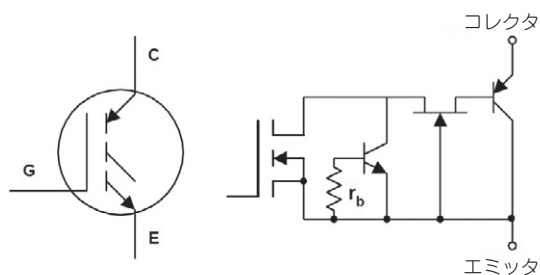
IGBTは、パワー・スイッチング素子として最も広く使われているエンハンスメント型nチャンネルMOSFETのドレイン(n型)に、さらにp型層を追加した構造となっています。

MOS構造の絶縁ゲートをもつ点はMOSFETと共通で、一般的なMOSFETと同様の製造プロセスで容易に製造できます。使い方も基本的にMOSFETと同様ですが、特性に違いがあります。

MOSFETの場合、ドレインとソースの間に逆方向の寄生ダイオード(ボディ・ダイオード)ができます。IGBTはその逆方向ダイオードにp型層を追加してpnpトランジスタを形成したものとと言えます。全体として見ると、IGBTはnチャンネルMOSFETでpnpトランジスタを駆動するダーリントン接続の一種と考えられます。

IGBTでは、MOSFETのゲートをそのままゲートと呼び、ソースをエミッタ、追加したp型層をコレク

タと呼んでいます。エミッタを接地してゲートに正電圧を加えれば、MOSFETが導通してpnpトランジスタを駆動し、コレクタ-エミッタ間に大きなオン電流(コレクタ電流)を流すことができます。



IGBTのデバイス記号

IGBTの等価回路

図2 IGBTのデバイス記号と等価回路

IGBTの特長と、MOSFETとの使い分け

IGBTとMOSFETの特性の主な違いは、オン時の電圧降下とスイッチング速度です。

MOSFETは、多数キャリア(nチャンネルなら自由電子)だけで動作するデバイスです。キャリアの蓄積がないのでスイッチング速度が速く、安全動作領域が広いなど優れた特長をもっています。オン時には抵抗とみなせるので、ドレイン電流に比例してドレイン-ソース間に電圧降下を生じ、それによって損失を生じます。このオン抵抗は、デバイスの耐圧に依存し、低耐圧なら低オン抵抗、低損失にできますが、高耐圧になるほどオン抵抗が高くなります。

IGBTは、バイポーラ・トランジスタと同様に少数キャリアが伝導に関与します。スイッチング速度は

MOSFETほど高速ではありませんが、バイポーラ・トランジスタより高速です。初期のスイッチング速度は1kHz程度でしたが、高速(1~8kHz)、超高速(8~30kHz)、ワープ速度(30~150kHz)などの製品が作られてきました。

伝導率変調によってオン抵抗が低く、電流密度を高くできます。コレクタ-エミッタ間にはほぼ一定の電圧降下が生じるので、大電流になるほどMOSFETよりも低損失にできます。

IGBTは電流密度を高くできることから、ダイ・サイズも一般に小型です。逆方向ダイオードが必要な用途ではIGBTと高速ダイオードを組み合わせて用いますが、ダイオードの分を合わせても十分に小型にできます。

また、高耐圧のデバイスはMOSFETより電圧降下が小さく、低損失にできます。一般に、耐圧300V程度を境にして、それより高耐圧側ではIGBTが有利、低耐圧側ではMOSFETが有利と言われています。

このような特長から、IGBTとMOSFETはパワーデバイスとして競合というより補完関係にあり、高耐圧で低速の用途にはIGBT、低耐圧や高速の用途にはMOSFETというように使い分けられています。

IGBTの用途と使い方

IGBTは600V、1200Vなどの高耐圧の製品が多く、家電機器や産業用機器のモータ制御、IH調理器、電子レンジ、ストロボ、スイッチング電源、UPS、EV/HEVなどに使用されています。

モータなどの誘導負荷の駆動では逆方向ダイオードが必要ですが、IGBTはMOSFETと違って寄生ダイオードをもたないため、外付けダイオードが必要になります。そのため、IGBTと高速ダイオードを1パッケージにしたモジュール製品が作られています。また、IGBTはブリッジ回路で使用することが多いため、2個入り(ハーフ・ブリッジ)や6個入り(三相ブリッジ)などのモジュール製品も作られています。この場合も、高速ダイオードを内蔵した製品があります。

ブリッジ回路の場合、ハイサイド側のエミッタ電圧はオフ時にはほぼ0V、オン時にはほぼ電源電圧 V_{CC} に変化します。IGBTをオンに保つにはゲート電圧を V_{CC} より約15V高くすることが必要で、1チップで高耐圧のゲート・ドライバICが作られています。

さらに、特定用途向けに最適化したIGBTとゲート・ドライバIC、保護回路などを組み合わせたIPM(インテリジェント・パワー・モジュール)製品がいろいろ作られています。家電機器をはじめとして、各種機器の小型化、低コスト化に便利です。

IGBTの高性能化と今後の展開

IGBTは、基本原理は変わっていませんが、初期のパンチスルー(PT)型からノン・パンチスルー(NPT)型、フィールド・ストップ型など構造の改良が続けられており、またゲート構造でもプレーナ型とトレンチ型の違いがあります。それによって、コスト、素子サイズ、各種の特性に大きな違いを生じています。スイッチング速度の改良も進んでおり、高耐圧かつ高速の用途でもMOSFETとも競合しています。

PTプレーナ型は現行のIGBT製品では最も基本的なもので、IR社では第4世代と呼んでいます。コスト効率が高く特性の自由度が高い利点を持ち、さまざまな耐圧や特性の製品が作られています。

NPTプレーナ型は第5世代と呼ばれており、高耐圧で高速の製品に適しています。

フィールド・ストップ・トレンチ型はフィールド・ストップ層を設けてベースを薄型化し、埋め込み構造のトレンチ・ゲートを採用したもので、第6世代と呼ばれています。600V品で低損失と高速を両立した製品に適しています。

最新の第7と第8世代は1200V耐圧のフィールド・ストップ・トレンチ型の改良版を採用しています。

IGBTに要求される特性は、用途によってかなり異なるので、それぞれ必要な特性をおさえたいうえで、最適なIGBTを選択することが必要でしょう。

▶この記事の詳細はIRジャパンホームページ <http://www.irf-japan.com>へ

図1 IGBTの構造