

パワーデバイスとその適用技術

笹川 清明(ささがわ きよあき)

五十嵐 征輝(いがらし せいき)

黒木 一男(くろき かずお)

1 まえがき

近年、パワーエレクトロニクス応用製品（汎用インバータ、無停電電源装置など）は、電力用半導体デバイス（以下、パワーデバイスと略す）の高性能化と電力変換回路およびその制御技術の発達によって、一般産業分野から家電・民生、あるいは電力分野へと急速に普及、進展してきている。

この電力変換装置の中核をなすパワーデバイスは、中小容量の機種にバイポーラトランジスタ（BJT）が、大容量の機種にGTOサイリスタ（GTO）が主に適用されてきている。

最近の開発動向として、高速スイッチングが可能で、しかもBJTと同等以上の電圧・電流クラスが可能であるIGBTの開発、系列化が急速に進んでいる。富士電機では、IGBTの開発と性能改善を強力に推進しており、現在では、IGBT構造での限界に近い特性を持つ第三世代品の開発、系列化を行っている。

本稿では、富士電機における自己消弧形パワーデバイスの現状とこれらパワーデバイスの適用技術（IGBTを中心とする）の一部を概説する。

2 パワーデバイスの技術動向

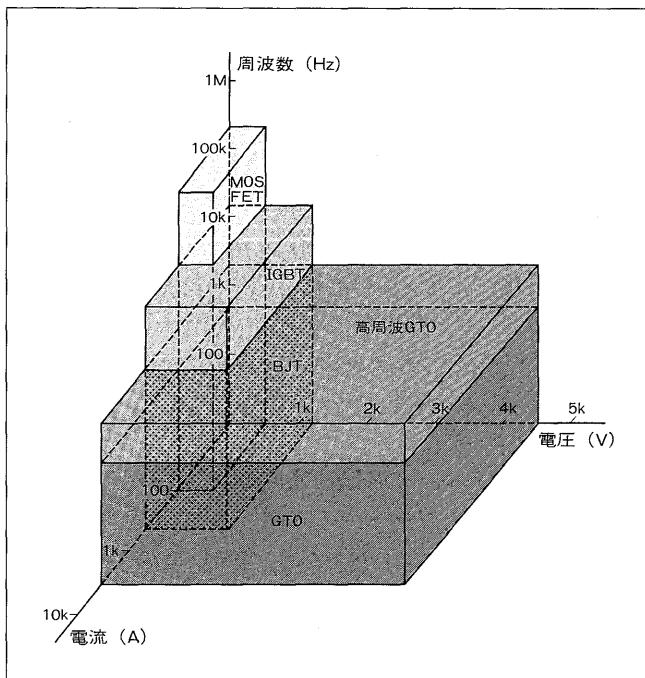
図1に自己消弧形パワーデバイスの適用範囲を示す。この図は、電流・電圧容量とスイッチング周波数から各パワーデバイスの適用領域の分担を決めており、実際の電力変換装置へ適用するデバイスは、この適用領域を基に、装置の要求性能、経済性を加味して、適用するパワーデバイスを決定している。この図で示す自己消弧形パワーデバイスの技術動向を次に述べる。

(1) BJT

BJTは豊富な機種系列をそろえ、現在でも中小容量の電力変換装置の主流である。現在の性能改善として、

- (a) ドライブ回路の小形、低損失化を目的とする電流増幅率改良（高 h_{FE} 化）

図1 自己消弧形パワーデバイスの適用範囲



- (b) 周辺回路の小形・簡素化を目的とする高機能化（スナップエナーダイオードの内蔵、電流制限機能の付加）

があり、改良努力が払われている。

(2) GTO

GTOは、BJTで実現が難しい高耐圧、大容量の電力変換装置に適用されている。デバイスの開発項目として、

- (a) 複合化（逆導通GTO）
- (b) 高耐圧・大電流化（～9kV, ～4kA）
- (c) 高周波化（スイッチング周波数：1kHz～）

が進められている。

(3) IGBT

IGBTが製品化されてから4年程度になるが、その間のデバイスの性能改善の進歩はめざましく、現在では、IGBT構造では限界に近い特性に達しつつある。

IGBTの応用製品は、当初、エレベータ用インバータな



笹川 清明

昭和57年入社。パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発本部電力変換技術開発部課長補佐。



五十嵐 征輝

昭和59年入社。パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発本部電力変換技術開発部課長補佐。



黒木 一男

昭和46年入社。パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発本部電力変換技術開発部課長。

どの特に低騒音化の要望の強い限定した用途から始まり、現在ではVVVFインバータから大容量の無停電電源装置まで幅広く適用が進んでいる。今後は、デバイスの改良、系列化に伴い、中小容量の電力変換装置の主流となることは間違いない。

(4) パワー MOSFET

パワー MOSFET は、主にモールド品がスイッチング電源などに適用されているが、BJT と同様なモジュール品も系列化されている。このモジュール品を用いた高周波インバータが製品化され、産業用電源などに適用されている。さらに、誘導加熱用途として、新形ケース構造のパワー MOSFET を用いた高周波インバータが製品化されている。

以上、自己消弧形パワーデバイスの技術動向を述べたが、変換装置を構成するにあたっては、スナバダイオードや高周波整流ダイオードも重要である。ダイオードの技術課題は、高周波化に伴う逆回復時間 (t_{rr}) の短縮、逆回復特性のソフトリカバリー化などであるが、順次大容量品でも開発が進みつつあり、耐圧 1,200V、電流 200A クラス品が数十 kHz で使用可能なレベルにある。

③ IGBT モジュールの適用技術

IGBT のゲート駆動回路、スナバ回路、IGBT スタックなどの適用技術について紹介する。

3.1 ゲート駆動回路

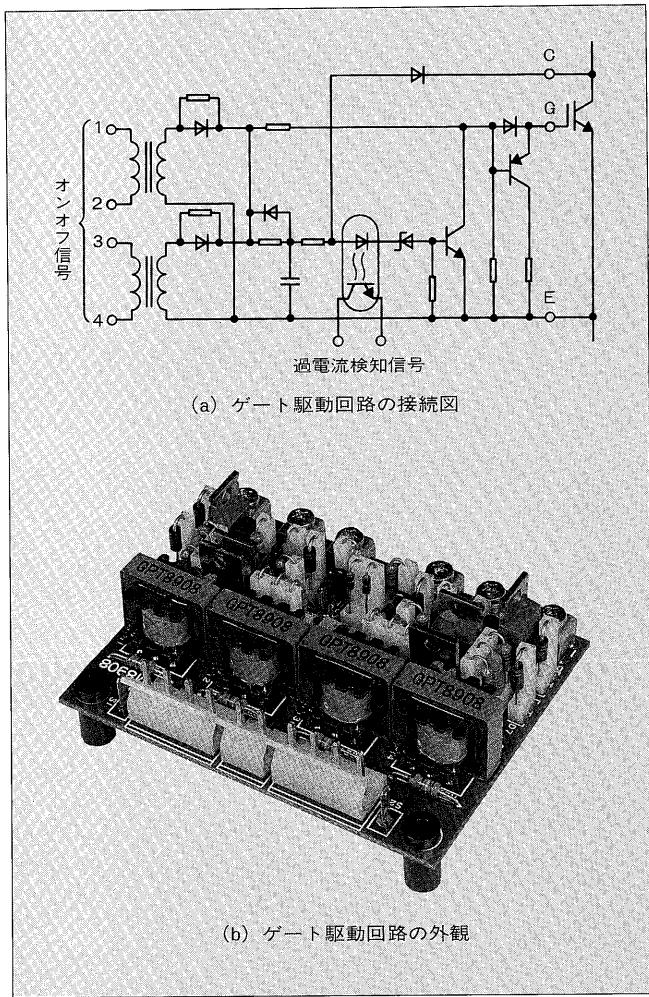
図 2 にゲート駆動回路の接続図と外観を示す。ゲート駆動回路は、制御回路からのオンオフ信号を主回路 IGBT のゲートに絶縁して伝送する役割を持っている。また、ゲート駆動回路には高速の信号伝送と主回路の dv/dt で誤動作しないことが要求される。このため、このゲート駆動回路は、絶縁用に耐ノイズ特性に優れたパルストランスを用い、また小形化と高速信号伝送のため、オンオフ信号を高周波で変調して、二つのパルストランスで絶縁伝送した後、二次側で復調する方式を採用している。さらに、確実な素子の過電流保護を行うため、素子導通時のコレクターエミッタ間の飽和電圧が規定値以上になった場合にはゲート信号をオフさせると同時に、ホトカプラで過電流信号を制御回路に返送する自己遮断式の過電流保護回路を内蔵している。

3.2 スナバ回路

IGBT を高速スイッチングする場合、通電経路の配線インダクタンスにより大きな飛躍電圧が素子に印加されるため、この電圧を素子の RBSOA (逆バイアス安全動作領域) 内に抑制するスナバ回路が必要となる。特に、遮断電流の増加に伴いこの飛躍電圧も増加するため、素子が大容量化されるほど重要となる。

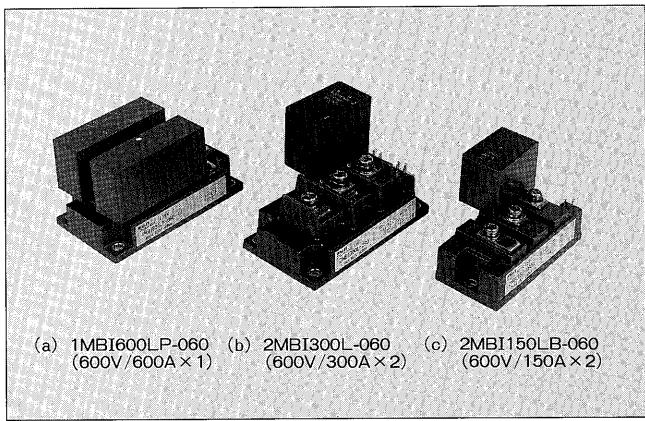
図 3 に富士電機製 IGBT モジュール (600V/150A × 2, 600V/300A × 2, 600V/600A × 1) とスナバの外観を示す。このスナバは、放電阻止形の RCD スナバ回路を

図 2 ゲート駆動回路の接続図とその外観



(b) : A4088-12-147

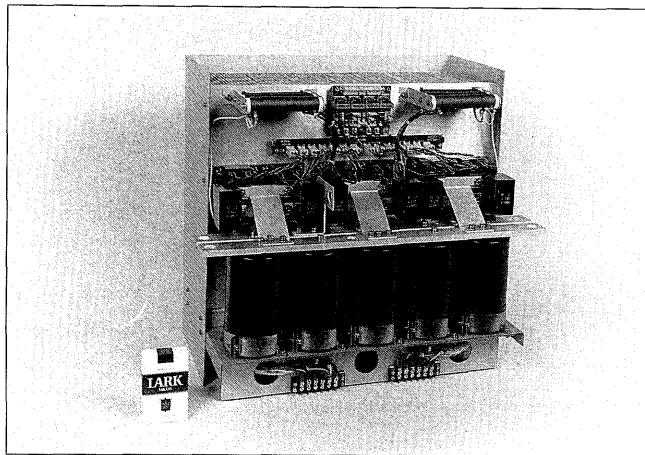
図 3 IGBT モジュールとスナバの外観



A4088-12-148

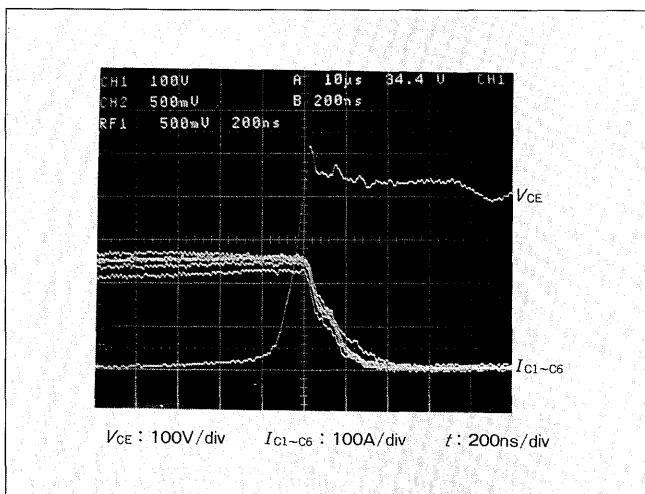
用い、また、素子とスナバ間の配線インダクタンスが最小となるよう IGBT モジュールの端子に直結できる構造としている。さらに、スナバダイオードとしては、過渡順方向回復電圧が小さな高速ダイオードを開発し使用している。このスナバ回路の適用により IGBT を高速遮断したときにもはね上がり電圧を RBSOA 内に抑制でき、IGBT の高速スイッチング特性を損なうことなく安全に動作させることができる。

図4 IGBT STACKの外観



340-11-80

図5 IGBT 電流分担波形

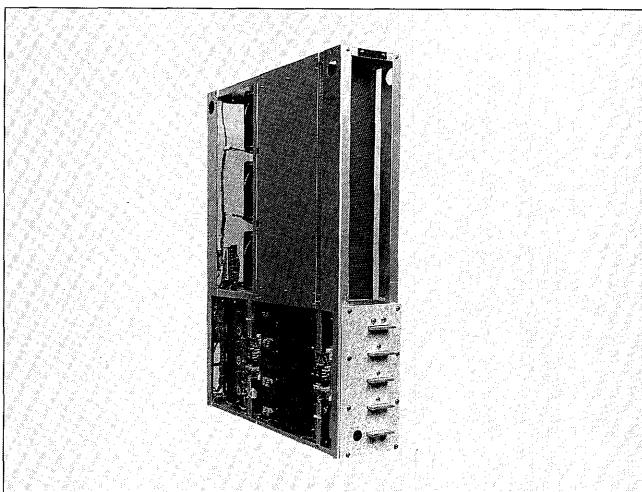


3.3 IGBT STACK

数百kVAクラスの大容量電源装置にIGBTを適用する場合、素子を並列接続して使用する。この並列接続したIGBTとその周辺回路を基本ユニットとしてまとめたものがIGBT STACKである。図4に富士電機製IGBTモジュール2MBI300L-060(600V/300A×2)を6個並列接続したIGBT STACKを示す。このSTACKは、IGBT、ゲート駆動回路、スナバ、電解コンデンサなどから構成されている。STACK構成素子の電流分担は、容量拡大のうえで重要な課題となる。このSTACKでは、電流を均等に分担させるため、適用素子の飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ のばらつきを規定値内にそろえることと、電解コンデンサから各素子までの配線インダクタンスを小さく、均等とする構造(素子の並列接続導体に直接電解コンデンサを接続)とを採用している。図5に、ターンオフ時の電流分担波形を示すが過渡的にも良好に分担していることが分かる。

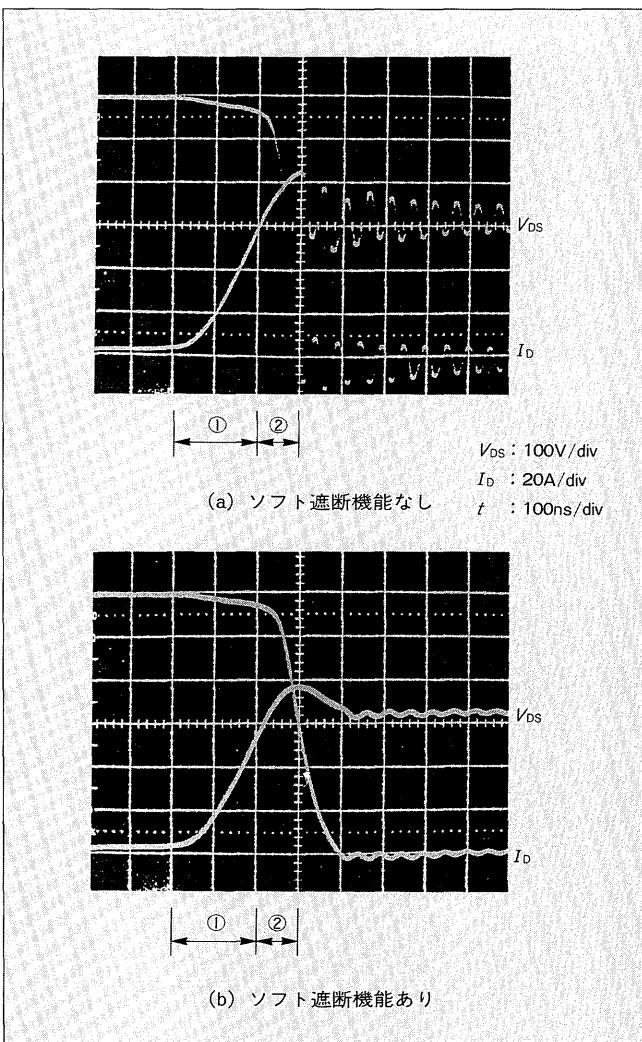
図6に富士電機製IGBTモジュール1MBI600LP(N)-060(600V/600A×1)を4個並列接続したIGBT STACKを示す。このSTACKは、収納効率を上げるため、冷却体にヒートパイプを使用した薄形構造としている。さらに、電解コンデンサから各素子までの配線インダクタン

図6 ヒートパイプ式IGBT STACKの外観



A3760-11-473

図7 大容量MOSFETモジュールの電圧電流波形



スの大幅な低減のため、主回路配線は大電流プリント板を使用したラミネート配線としている。このSTACKを採用することにより、IGBTの適用容量範囲は1MVAクラスまで拡大された。

4 パワー MOSFET モジュールの適用技術

パワー MOSFET モジュールの適用技術は基本的に IGBT と同じと考えてよいので、ここでは特にソフト遮断技術について紹介する。

パワー MOSFET は、高周波インバータなど高周波領域に適用されるが、その高速スイッチング特性からスイッチング時の飛躍電圧を抑えることはより重要な課題となる。特に、250V/200A, 500V/100Aの大容量モジュールにおいては、モジュール内部の配線インダクタンスの影響からスナバ回路だけで飛躍電圧を抑制することは困難である。今回この電圧を抑制するため、制御線である補助ソース線を主回路ソースバーの中間に接続し、この主回路ソースバーの配線インダクタンスの発生するターンオフ時の逆起電力をゲート駆動回路に加え、ターンオフ時の遮断電流変化率を小さくする方式のソフト遮断機能を追加した。図 7 に大容量 MOSFET モジュールのターンオフ時の電圧電流波形を示す。ソフト遮断機能を付加することにより、期間①の時間を延ばすことなく期間②を調整し、飛躍電圧を小さく抑えている。結果としてスイッチング損失の低減を

図っている。

5 あとがき

パワーデバイスの技術動向とともに、特に高速スイッチングデバイスである IGBT モジュールとパワー MOSFET モジュールの適用技術の紹介を行った。電力変換装置の小型・軽量化、高効率化、高性能化の要求は強く、パワーデバイス自体の特性改善はさらに続くと思われるが、それに伴い素子の持つ能力を限界まで引き出す適用技術の開発もまた重要であると考える。今後はさらに、ソフトスイッチング技術など新技術の開発に取り組み、パワーデバイスの低損失化、高周波化、大容量化などに注力する所存である。

参考文献

- (1) 深尾正：パワーエレクトロニクス技術への期待と果たすべき役割、電気学会論文誌 D, Vol.112, No.1, p.2-5 (1992)
- (2) 八尾勉・内田喜之：パワー半導体デバイスの進展、電気学会論文誌 D, Vol.112, No.1, p.6-11 (1992)
- (3) 内田喜之：MOSゲートパワーデバイス技術の進歩、富士時報, Vol.63, No.9, p.597-601 (1990)

最近公告になった富士出願

〔実用新案〕

公 告 番 号	名 称	考 案 者	公 告 番 号	名 称	考 案 者
実公平 4-27882	帯状材料の巻出し装置に於ける継合せ装置	原田 洋	実公平 4-31649	マスタースレーブ方式の自動販売機の制御装置	川崎 一哉
実公平 4-28162	側面摺動形集電装置	柴山 國夫	実公平 4-31650	自動販売機における商品銘板ブルダの取付け構造	宮尾 哲也
実公平 4-28163	電気車の集電装置	宮内 広二 稻岡 敏郎	実公平 4-31656	自動販売機の防盗警報装置	宮尾 哲也
実公平 4-28200	バルブ水車発電機の固定子リード線支持構造	神林 靖	実公平 4-31665	自動販売機のキャビネット	源水 敏彦
実公平 4-29087	貫流水車の給気構造	福沢 博 久志本昌一	実公平 4-31667	自動販売機のベンドメック取付け構造	上田 治幸
実公平 4-29350	自動販売機の庫内冷却装置	村田 信行 森川 晃 高田 隆一	実公平 4-31668	自動販売機の商品搬出装置	五十畠正男
			実公平 4-31684	電気器具のレール取付装置	小松 健二 秋池 勝美
実公平 4-29420	直列整流素子の故障判定装置	高井 明	実公平 4-31755	真空加熱用鋳込みヒータ	野地 恭弘
実公平 4-29460	選択リング付き押しボタンスイッチ	大宮 良一 今井 哲也	実公平 4-31773	三相一括型絶縁スペーサ	臼井 昇 菅野 徹
実公平 4-29469	双投形断路器の可動接触子位置表示装置	加藤 耕市	実公平 4-31810	導電体の高圧容器外引き出し部構造	松下 祐三 石井 勇次
実公平 4-30721	角形表示灯の連結装置	西尾 三男 若林 茂雄 宮下 真	実公平 4-31816	回転電機のテレメータ装置のアース接続部	鈴木 忠雄 遠藤 研二
			実公平 4-31817	回転電機のテレメータ装置のアース接続部	鈴木 忠雄 遠藤 研二
実公平 4-30815	入力回路	日沢 衛	実公平 4-31836	可変速電動機の速度制御装置	松本 吉弘
実公平 4-31647	自動販売機の制御装置	中嶋 陽			



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。