

IEGT を適用した産業用大容量インバータ

High-Voltage Inverters Employing IEGTs for Industrial Motor Drives

市川 耕作
ICHIKAWA Kohsaku

内藤 義雄
NAITO Yoshio

中嶋 亮
NAKAJIMA Ryo

近年、高電圧・大電流の IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor) が開発され、実用段階になっている。今回、定格 4.5 kV・4 kA 遮断の圧接型 IEGT と定格 4.5 kV・1.6 kA 遮断のモジュール型 IEGT をそれぞれ適用した 2 種類の応用装置を開発した。一つは、鉄鋼圧延主機モータドライブを中心とする GTO (Gate Turn-Off thyristor) 応用分野に適用でき、定格容量 8 MVA の水冷式 3 レベルインバータである。もう一方は、省エネルギー(以下、省エネと略記)モータドライブ向けの装置で、従来の IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) から IEGT へ置き換えた定格容量 3 MVA の風冷式多重インバータである。

これらは、次世代大容量インバータ装置として、従来の GTO や IGBT を適用した同容量のインバータと比較して、効率の大幅向上、外形の大幅縮小、高信頼性を達成した。

A high-voltage Injection Enhanced Gate Transistor (IEGT) has been developed in recent years and begun to be used in practical applications. This paper describes two newly developed types of equipment for which a 4.5 kV・4 kA turn-off press-packaged type IEGT and a 4.5 kV・1.6 kA module-packaged type IEGT are employed. One is an 8 MVA rated capacity, water-cooled type, three-level inverter which can be used for gate turn-off thyristor (GTO) applications such as rolling mill motor drives. The other is a 3 MVA rated capacity, air-cooled type, multilevel inverter for energy-saving type motor drives in which the conventional insulated gate bipolar transistor (IGBT) is replaced by an IEGT.

Both types of equipment have advantages for next-generation systems compared to conventional inverters with identical power using GTOs and IGBTs, thanks to their higher efficiency, smaller size, and greater reliability.

1 まえがき

近年の自己消弧型大容量半導体の発展と PWM (Pulse Width Modulation) 制御技術の進歩により、パワーエレクトロニクスを応用したモータドライブ技術の発展には目覚ましいものがある。

数 MVA クラスの高圧モータ駆動には、従来、高圧 GTO や高圧 IGBT が適用されていた。今回、実用段階に達した高圧大電流 IEGT⁽¹⁾を適用し、定格容量 8 MVA 水冷式 3 レベルインバータと定格 3 MVA 風冷式多重インバータの 2 種類の応用装置を開発、製品化した。特に、従来 GTO では、スナバが不可欠のため装置の効率や外形が限界になってきていたが、IEGT の適用によりスナバレス化が実現でき、GTO や IGBT を適用した装置と比較して、効率の大幅向上、外形の大幅縮小、高信頼性を達成したのでその内容について述べる。

2 圧延主機駆動用 IEGT 3 レベルインバータ

2.1 装置定格

新しく開発した水冷式 IEGT 3 レベルインバータの定格概要を以下に、その構成を図 1 に示す。

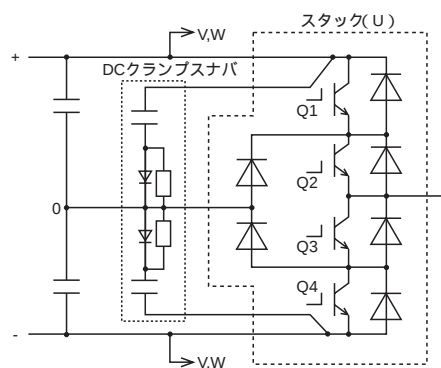


図 1 . 3 レベルインバータの回路構成 IEGT の個別スナバを削除し、DC クランプスナバだけとした。
Configuration of 3-level inverter

- (1) 定格出力 8 MVA・3 φ・3.3 kV
- (2) 過負荷 150 % , 1 分
- (3) IEGT 定格 4.5 kV・4 kA ターンオフ (FWD (Free Wheeling Diode) 内蔵)

図 1 は、3 レベルインバータの 1 相分の主回路構成を示しており、直流電圧の平滑コンデンサと IEGT スタック 3 個から構成されている。破線で囲った部分は 1 相分に相当するス

タック1個分を表している。その構成は、IEGT 4個(FWD 内蔵)とクランプダイオード2個とから成り、付属としてコンデンサ、ダイオードと抵抗から成るDCクランプスナバを設けている。従来のGTO式3レベルインバータでは、各アームに dI/dt 抑制用のアノードリアクトルとGTO個別に充放電スナバを必要としていたが、IEGT 適用によりこれらの部品を削除することができた。

2.2 保守性向上の IEGT スタック

IEGT スタックは、3レベルインバータのクランプダイオードを含めた1相分を図2に示すようなスタック構成とした。これは、FWD 内蔵の125 φ IEGT4個と85 φ クランプダイオード2個、及び水冷ヒートシンクを串刺し状の同一スタックに構成したもので、口径の異なる組合せでも素子電極面では圧接力分布を均一化できる構造とした。

また、スタックの圧力調整は通常の工具により容易に調整できる構造とした。スタック構造がシンプルで IEGT 単品の交換も容易である。

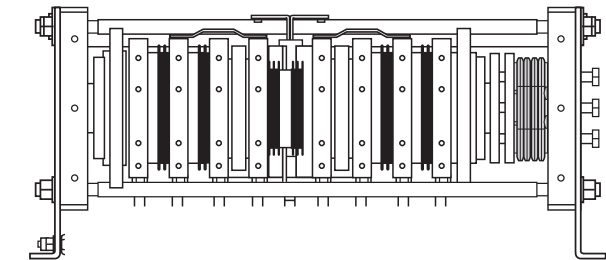


図2 . IEGT スタック 異口径の IEGT とクランプダイオードを同一スタックで構成した。
IEGT stack

2.3 スナバレス技術

従来、GTOでは、 dV/dt 抑制のため各GTOに個別スナバを設ける必要があり、4 ~ 6 μ F のコンデンサを設けている。したがって、装置の効率向上を図るためにスナバエネルギーの回生を行うと、主回路部品数の増加により装置外形が大きくなる課題があった。IEGTは、IGBT同様に dV/dt 耐量が大いなので基本的にはスナバが不要である。しかし、実際には回路のインダクタンス(L)はゼロでないから、電流遮断時には $L \cdot dI/dt$ によるサージ電圧が発生する。

今回、このサージ電圧を極力低減する配線構造を開発し、図1に示すように直流部に最小限のDCクランプスナバを設けることでIEGT 素子個別のスナバを削除することに成功した。このクランプスナバは、IEGT が電流を遮断したときの主回路漏れインダクタンスによる直流母線の電位変動を吸収するだけで、GTO インバータのスナバのように毎サイクル充放電を繰り返すことがない。したがって、DCクランプ

スナバの損失は非常に小さく、装置効率が大幅に向上する。このスタックを使用して4 kA を遮断したときの波形を図3に示す。これから明らかなように、IEGT の個別スナバなしでも電流遮断時のサージ電圧ピーク値は、約3.6 kV で IEGT 定格に対し十分余裕がある。

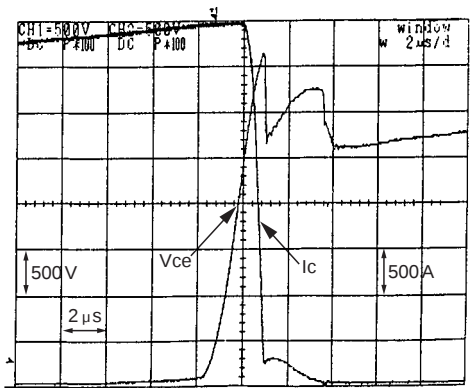
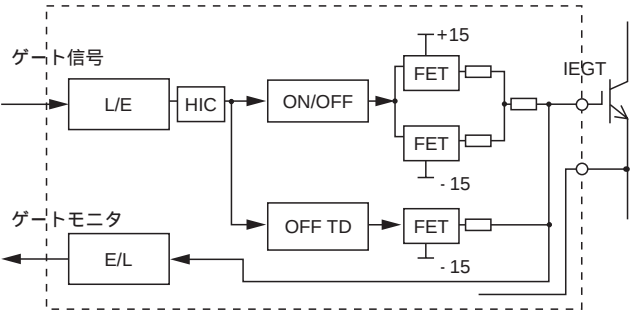


図3 . IEGT 電流遮断波形 サージ電圧ピークは約3.6 kVである。
4 kA turn-off waveform

2.4 改良型ゲート回路

IEGT のゲート駆動特性は、基本的に IGBT と同様の MOS(Metal Oxide Semiconductor)構造であり、IGBT 用ゲート回路で駆動することができる。すなわち、+15 V 印加によりターンオン、-15 V 印加によりターンオフさせることができる。しかし、高圧大容量の装置では、コンパクト化すると低電圧のゲート回路は主回路の影響を受けやすい。これを回避するために新しいゲート回路を開発した。新規開発した IEGT 用ゲート回路の構成を図4に示す。

この回路の特長は、IEGT がターンオフ中は低インピーダンスで IEGT のゲート電極を負バイアスにしておくことであ



L/E : 光を電気に変換 E/L : 電気を光に変換 ON/OFF : オン・オフ基準信号
HIC : ハイブリッドIC FET : 電界効果トランジスタ OFF TD : オフ信号のTime Delay

図4 . ゲート回路の構成 オフ期間中は、低インピーダンスで負バイアスを IEGT のゲートに印加しておく。
Gate driving circuit

る。この方法により、 dV/dt による誤点弧を防止でき、従来のIGBTに適用しても効果がある。図5は、IEGT素子とこれを駆動するゲートドライバである。



図5．IEGTとゲートドライバ ゲートドライブ基板は非常に小さい。
IEGT and gate driver

2.5 小型・高効率の変換装置

従来、GTOインバータでは、GTOスタック以外にスナバ回路部品、アノードリアクトル、スナバエネルギー回収回路などが必要であった。IEGTインバータでは主回路部品数が削減されて、図2に示すスタック3個で3相インバータを構成できる。保守はスタックだけの扱いでよいことから保守作業も容易化された。IEGTは高速スイッチング素子のため、GTOの場合より転流時間を短くできるので電圧利用率が上がる。その結果、直流電圧をGTOの場合より低くできるため、直流コンデンサの小型化、主回路損失の低減が可能となった。同容量のGTO 3レベルインバータに比較して、インバータ装置の外形寸法は約50%へ低減することができた。コンバータ・インバータ構成での効率はGTO方式に比べて2%以上向上した。また、軽負荷でもGTOスナバ回路のような固定損がないので高効率である。主回路部品点数が大幅に削減されて信頼性も格段に向上する。

8 MVAでのGTO方式とIEGT方式の変換装置を比較した結果を表1に示す。また、IEGT 3レベルインバータの変換装置の外形を図6に、出力電圧・電流波形を図7に示す。

表1．8 MVA変換装置比較
Comparison of 8 MVA converters

項 目	GTO 方式	IEGT 方式
素 子	6 kV・4 kA	4.5 kV・4 kA
外 形 (%)	100	50
質 量 (%)	100	55
効 率 (%)	96.5	約 99
主回路部品数 (%)	100	40
ゲート回路部品数 (%)	100	33



図6．8 MVA-IEGT 3レベル変換装置 従来GTO方式と比較して外形寸法を約50%に低減した。
IEGT 3-level inverter

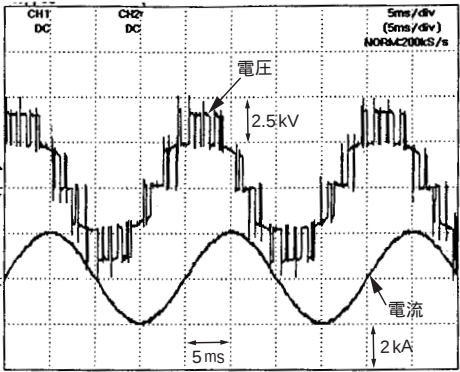


図7．出力電圧・電流波形 高調波の少ない電流波形が得られている。
Output voltage and current

3 省エネドライブ装置 TOSVERT_{TM}-M V

3.1 回路構成

6.6 kV交流電動機を直接駆動できる省エネドライブシステム用に、モジュール型IEGT(4.5 kV・800 A)を使用した3 MVAマルチレベルインバータを開発した。

図8は、このインバータの主回路構成を示したもので、セルインバータを3個直列に接続して1相分を構成し、3相Y結線により昇圧トランスなしで高電圧出力を得ている。従来のIGBTでは、セルインバータを6段使用して6.6 kVを得ていたが、3段で6.6 kVを出力できる。

IEGT使用により、IGBTと同一のセルインバータ外形でパワー密度を2倍に上げることができ、変換器の外形を50%に低減できた。IGBT型とIEGT型インバータとの比較を表2に示す。

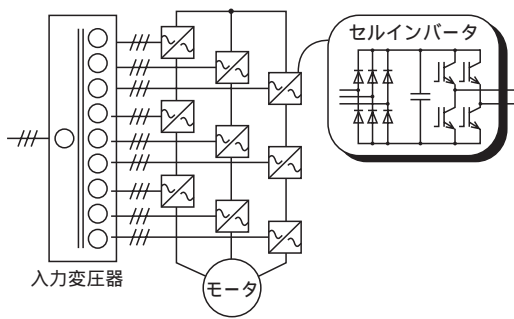


図8．省エネドライブ装置の主回路構成 1相セルインバータを多段積みすることにより高電圧を得ている。
Main circuit configuration of TOSVERTTM-MV

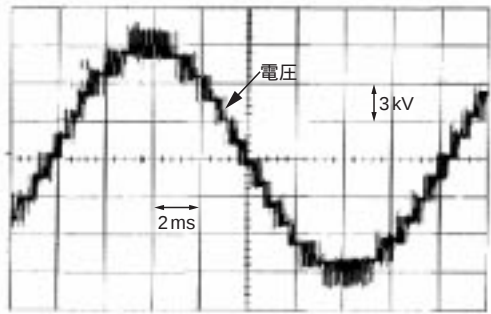


図10．省エネドライブ装置の出力電圧波形 正弦波電圧であるので、既設電動機をそのまま駆動できる。
Output voltage waveform of multilevel inverter

表2．3MVA・6.6kVインバータの比較
Comparison of 3MVA inverters

項 目	IGBT 方式	IEGT 方式
素子定格	1.7kV・400A	4.5kV・800A
素子並列数	2	1
1相セル直列数	6	3
変換器外形 (%)	100	50

3.2 長期信頼性試験

図9に示すように、99年8月から実際に電動機を駆動したシステムで稼働しており、IEGTの信頼性を確認した。この装置の運転効率は入力変圧器を含めて約98%が得られた。また、装置定格時における出力電圧波形を図10に示す。



図9．実稼働中の省エネドライブ装置 99年8月から実運転中の省エネドライブ装置である。
Energy-saving drive system in operation

4 あとがき

鉄鋼圧延プラントの主機電動機駆動用に従来GTOが多く使用されていたが、これに替わって次世代のパワー素子で

ある圧接型IEGTを適用して定格8MVAの3レベルインバータを開発、製品化した。GTO使用の装置と比較して効率の大幅向上、据付スペースの1/2化が達成された。また、省エネドライブシステム用にはモジュール型のIEGTを適用することで、従来のIGBTと同様の主回路構成により主回路素子数を半減でき、外形寸法の50%化と高効率、高信頼性が得られた。いずれの装置も、主回路部品数の大幅削減により、信頼性向上と効率向上でランニングコストの大幅低減が可能である。

IEGTは、次世代の高圧大容量変換装置用パワー素子として幅広い応用分野に適用され、その効果を発揮することが期待される。

文 献

- (1) Matsuda, H., et al. "High Power (4.5kV・4kA turn-off) IEGT". EPE '99. Lausanne, 1999.
- (2) 川上和人, ほか. "IEGTインバータの開発". 電気学会全国大会. 1999.
- (3) 下浦拓二, ほか. "省エネルギー高圧ダイレクトACドライブ装置". 東芝レビュー. 54, 1, 1999, p.57 - 60.



市川 耕作 ICHIKAWA Kohsaku
情報・社会システム社 府中情報・社会システム工場 ドライブシステム部主査。
モータドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。
Fuchu Operations - Information and Industrial Systems & Services



内藤 義雄 NAITO Yoshio
情報・社会システム社 府中情報・社会システム工場 ドライブシステム部主査。
モータドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。
Fuchu Operations - Information and Industrial Systems & Services



中嶋 亮 NAKAJIMA Ryo
情報・社会システム社 府中情報・社会システム工場 ドライブシステム部。
モータドライブ装置の開発に従事。
Fuchu Operations - Information and Industrial Systems & Services