

# 3レベル双方向スイッチ方式インバータ用 IGBTモジュールとその応用

川畑 聡\*  
村岡宏記\*  
丸田 歩\*

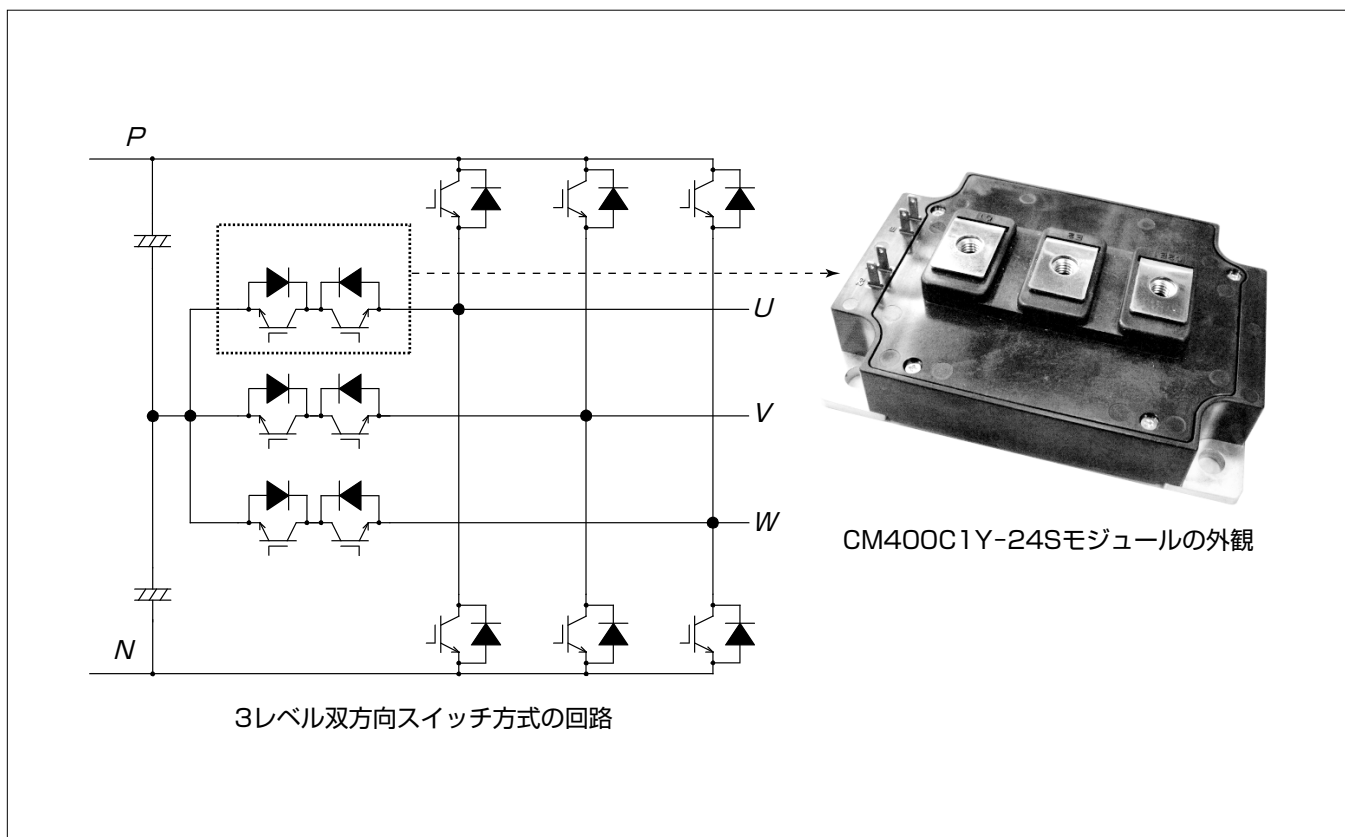
*IGBT Module for Interactive Switch Type 3 Level Inverter and it's Application*

*Satoshi Kawabata, Hiroki Muraoka, Ayumi Maruta*

## 要 旨

近年、太陽光発電や風力発電等に代表される自然エネルギーの活用として注目されている新エネルギーの市場は、世界的環境問題の影響もあり拡大傾向にある。電力消費は今後急激に増えることが予想され電力は貴重な資源となり、電力の変換損失を極力減らすことが望まれるとともに、電力の安定供給が課題となる。大幅な市場拡大が期待される太陽光発電や風力発電の変換効率を上げることが電力損失を削減することになる。また、電力の安定供給を確保するためには無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply : UPS) を使用する需要も拡大されるため、その電力損失を削減することも電力という貴重な資源を守ることとなる。電力損失低減化のためのインバータの回路構成として、よ

り電力損失の低減(高効率化)が期待できる多段式のマルチレベルインバータが採用されるケースが増加してきており、より複雑な回路構成を持ったインバータで構成される。また、電力損失の削減はインバータ回路の構成のみだけでなく、インバータ回路を構成するパワーデバイスの損失低減も非常に重要となる。今回注目したのは、比較的構成が簡素である双方向スイッチ方式の3レベルインバータに採用されている双方向部分であり、この回路構成を1モジュール化し、三菱電機の最新世代チップである第6世代IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を搭載することによって回路構成の簡素化及び高効率化への貢献が期待できる。



## 3レベル双方向スイッチ方式の回路とモジュールの外観

3レベル双方向スイッチ方式インバータの回路構成とその双方向部をモジュール化した製品の外観を示す。

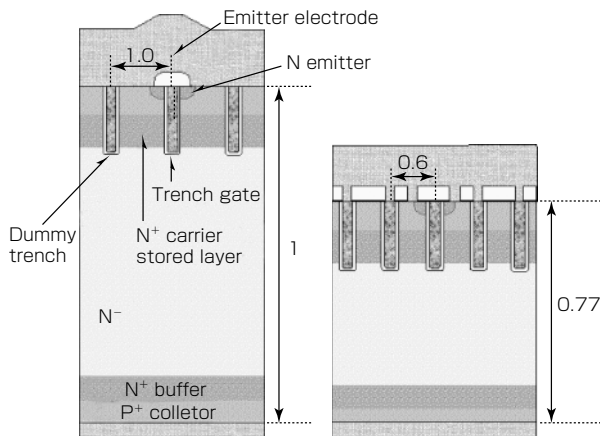
## 1. ま え が き

環境に関する取組みが必須となってきた社会背景の中で、資源とエネルギーを効率的に活用するパワーエレクトロニクスの役割は更に重要になってきている。

本稿では、一般的な2レベル方式のインバータ構成よりも、より高効率期待できる3レベル方式の一つである双方向スイッチ方式の回路構成で双方向スイッチを1モジュール化した製品について述べる。この製品は、当社最新世代チップである第6世代IGBTを採用することによって、ユーザー側での回路構成の容易化と効率改善に貢献できる。

## 2. 第6世代IGBTチップ

パワーモジュールの共通の課題は“低損失”と“小型化”。次代へ向けた継続的な高機能化、高性能化への進化も、これらの課題の解決が大前提であり、そのために必要となるのは優れたパワーチップの開発である。低損失を実現するために第4世代からトレンチ構造を導入し、第5世代ではキャリア蓄積層を備えたCSTBT(Carrier Stored Trench gate Bipolar Transistor)を開発した。第5世代及び第6世代IGBTの構造を図1に、トレードオフの改善を図2に示す。第6世代では第5世代CSTBTに改良を加え更なる低損失を実現している。



(a) 第5世代 IGBTの構造 (b) 第6世代 IGBTの構造

図1. IGBTチップの構造

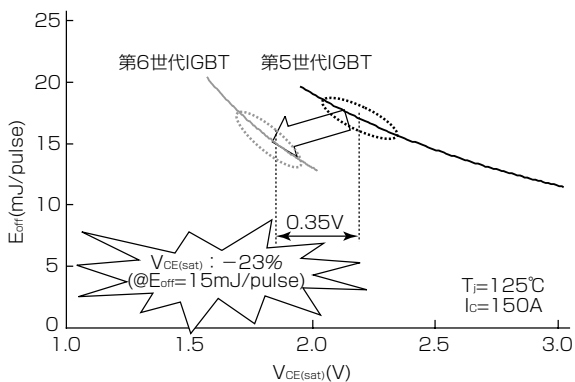


図2. IGBTトレードオフ( $V_{CE(sat)}$  vs.  $E_{off}$ )の改善

## 3. 製品概要

### 3.1 製品コンセプト

3レベル双方向スイッチ方式インバータの回路構成の双方向スイッチ部を1モジュール化することを目標に、現行“NFシリーズ”のパッケージを用い当社最新世代の第6世代IGBTのコンセプトを盛り込んだ形での製品開発を実施した。

### 3.2 製品仕様

モジュールの外観を図3に、内部結線図を図4に示し、基本特性を表1に示す。

第6世代IGBTでは、最大接合温度を第5世代IGBTの150°Cから25°Cアップした175°Cとし、温度に対する動作範囲を拡大しており、ユーザーサイドの温度設計が余裕を持った形で可能となった。

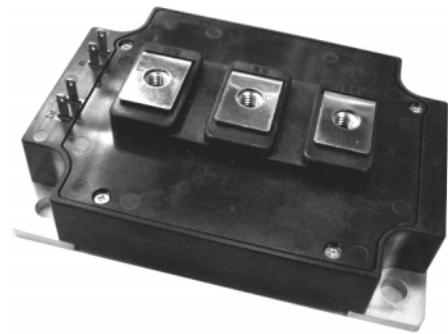


図3. CM400C1Y-24Sモジュールの外観

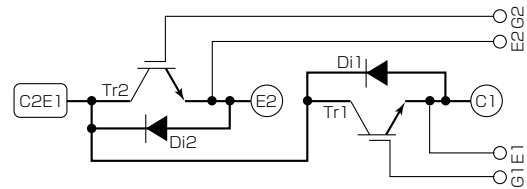


図4. 結線図

表1. CM400C1Y-24Sモジュールの特性

項目	記号	単位	定格値	条件
コレクタ・エミッタ間電圧	$V_{CES}$	V	1,200	G-E間短絡
コレクタ電流	$I_C$	A	400	$T_c = 25^\circ\text{C}$
最大接合温度	$T_{jmax}$	$^\circ\text{C}$	175	-
動作接合温度	$T_{jop}$	$^\circ\text{C}$	-40 ~ +150	-

項目	記号	単位	規格値			条件
			最小	標準	最大	
コレクタ・エミッタ間飽和電圧(チップ)	$V_{CE(sat)}$	V	1.49	1.70	2.15	$T_j = 25^\circ\text{C}$
			-	1.90	-	$T_j = 125^\circ\text{C}$
			-	1.95	-	$T_j = 150^\circ\text{C}$
エミッタ・コレクタ間電圧(チップ)	$V_{EC}$	V	-	1.70	2.15	$T_j = 25^\circ\text{C}$
			-	1.70	-	$T_j = 125^\circ\text{C}$
			-	1.70	-	$T_j = 150^\circ\text{C}$
熱抵抗	$R_{th(j-c)Q}$	K/kW	-	-	56	IGBT部, 1素子あたり
	$R_{th(j-c)D}$	K/kW	-	-	95	FWDi部, 1素子あたり
	$R_{th(c-s)}$	K/kW	-	18	-	1/2モジュールあたり

また、3レベル双方向スイッチ方式では通常、双方向部のIGBTにはスイッチング時に印加される電圧が1/2となるが、高電圧化対応も考慮し素子耐圧を1,200Vとして開発をした。これによって、回路配線のL分によって素子に印加されるサージ電圧にも余裕度が生じる。その結果、ユーザーサイドからみて設計しやすい素子となっている。

#### 4. 3レベルインバータ回路構成

##### 4.1 特長

図5にインバータの回路構成を示す。図の(a)は一般的な2レベル回路、図の(b)は3レベルニュートラルポイントクランプ方式(NPC方式)回路、図の(c)は3レベル双方向スイッチ方式回路である。図6に3レベル回路と2レベル回路の出力線間電圧波形を示す。2レベル回路の出力電圧のステップ変化量が直流電圧Eであるのに対し、3レベル回

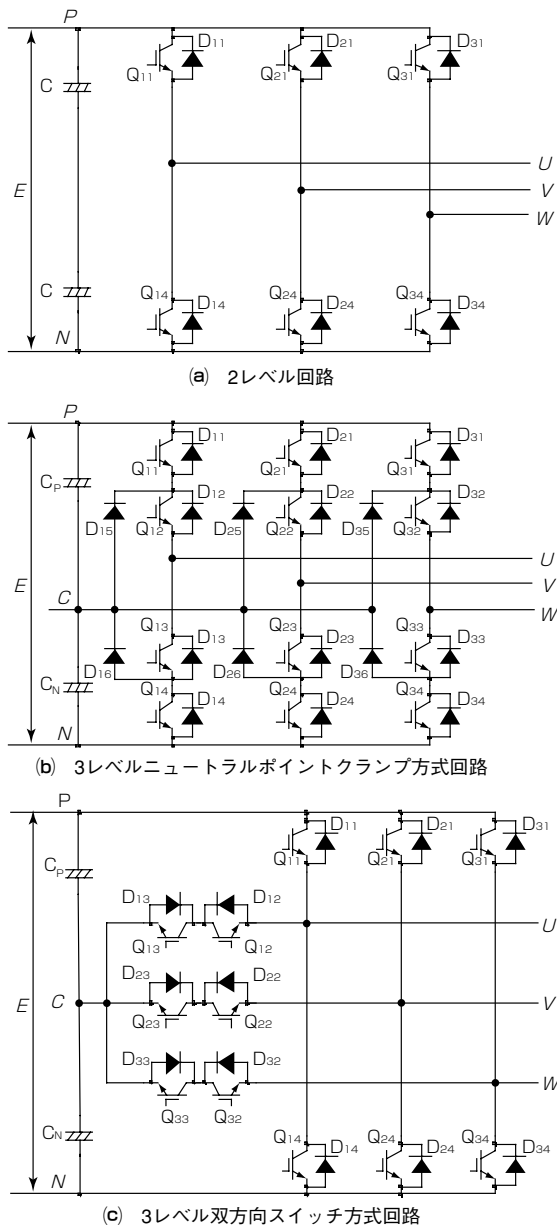


図5. 回路構成

路はステップ変化量がE/2となるため、出力電圧がより正弦波に近くなり、フィルタ回路を小型化することができる。3レベルのニュートラルポイントクランプ方式は、2レベル回路に比べ素子耐圧を1/2にすることができることから、高圧の電力変換回路に適する。一方、高効率化を考えると、ニュートラルポイントクランプ方式ではP電位(又はN電位)を出力する場合の電流は、素子 $Q_{11}$ ,  $Q_{12}$ (又は $D_{13}$ ,  $D_{14}$ )を通過するが、双方向スイッチ方式では素子 $Q_{11}$ (又は $D_{14}$ )のみを通過するので、電流が通過する素子数が1/2となり、定常損失を低減できるため3レベル双方向スイッチ方式が有利となる。

##### 4.2 3レベル双方向スイッチ方式の損失

図7に各回路構成におけるIGBT損失(直流電圧、出力電流、スイッチング周波数は同一)の比較を示す。2レベル回路はスイッチング損失が支配的で全損失の70%程度を占めている。これに対し3レベル双方向スイッチ方式は、スイッチング時に印加される電圧がE/2になることからスイッチング損失を大幅に削減でき、トータル損失を約35%近く低減可能である。

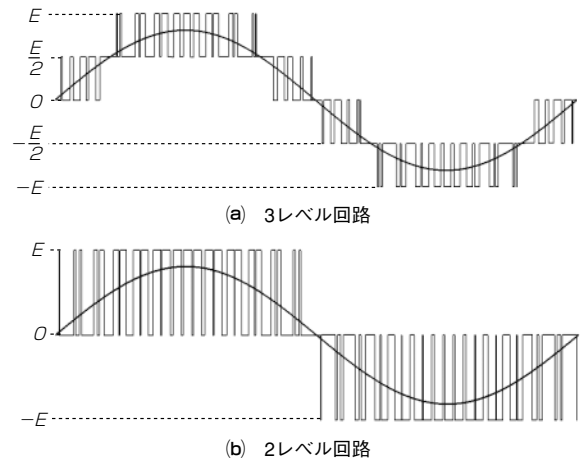


図6. 出力線間電圧波形

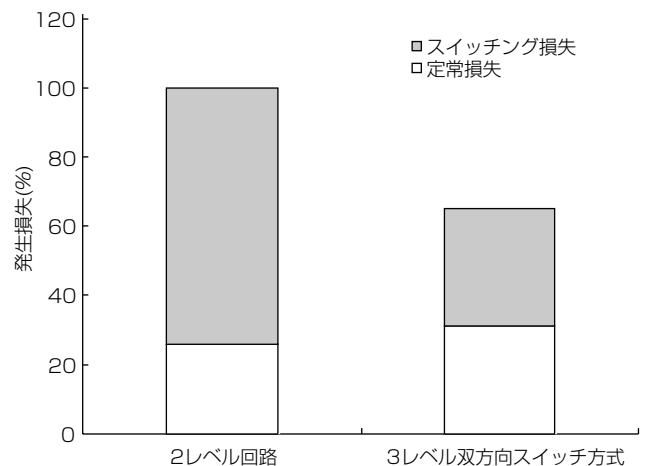


図7. 回路構成による素子損失比率

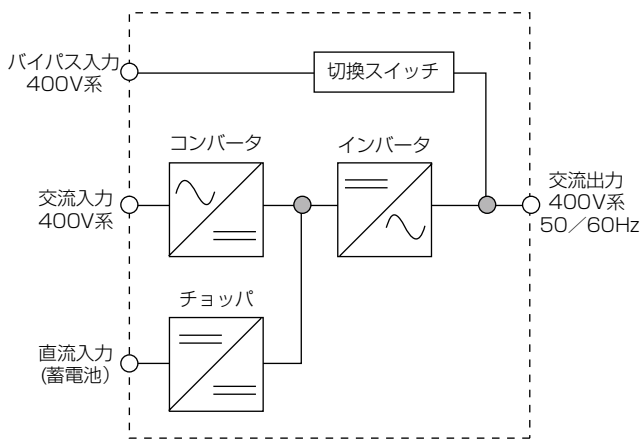


図 8. 無停電電源装置の構成

## 5. 応用例

図 8 に示す常時インバータ無停電電源装置のコンバータ、インバータ部に第 6 世代 IGBT を使用し、3 レベル双方向スイッチ方式を適用した場合、第 5 世代 IGBT を使用した 2 レベル回路と比較して約 2 % の効率改善が可能である。変換効率の比較を図 9 に示す。

3 レベル双方向スイッチ方式を適用した装置では、負荷率 20~100% の広い範囲で 96% 以上の高効率を達成しており、最大効率も 97% 以上と一般的な 2 レベル変換器を適用した装置に対して約 2 % の効率向上を実現している。

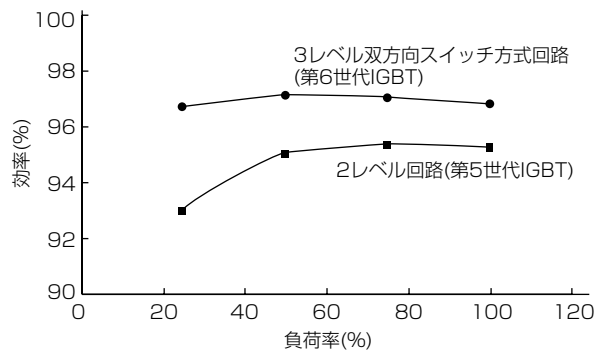


図 9. 400V 500kVA装置の効率特性カーブ

## 6. むすび

3 レベル双方向スイッチ方式インバータ用 IGBT モジュール CM400C1Y-24S について述べた。この双方向用 IGBT と第 6 世代 IGBT 2 in 1 を使用することによって 3 レベル双方向スイッチ方式の回路構成の簡素化が図れ、その並列接続によって高効率化も可能となる。当社最新世代チップである第 6 世代 IGBT と 3 レベル双方向スイッチ方式を採用することで、機器の効率改善に貢献できると考える。

今後第 6 世代 IGBT のラインアップ拡充と、その回路構成によってユーザーサイドの構成の簡素化を狙った製品の開発を進めていく。

## 参考文献

- (1) 高橋徹雄, ほか: 新型パワーモジュール用第 6 世代 IGBT と薄ウェーハダイオード, 三菱電機技報, 84, No. 4, 224~227 (2010)