特集論文

第6世代IGBTモジュール“NXシリーズ”の耐圧1,700V級への展開

増田晃一*
宮崎裕二*
黒田哲生*

6th Generation IGBT Module "NX Series" for 1,700V Class

Koichi Masuda, Yuji Miyazaki, Tetsuo Kuroda

要　旨

近年，地球温暖化や省エネルギー化対策の需要の高まりによって環境負荷を低減する技術として，パワーエレクトロニクス製品の需要は高くなっている。三菱電機のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールはモータを高効率に駆動させるための電力制御用の半導体デバイスとして，産業用途，電鉄用途，家電などの民生用途を中心に風力発電，太陽光発電，ハイブリッド自動車等の様々な環境技術に応用されている。

今回，汎用インバータ，ACサーボといった産業用途向けに展開している“NXシリーズ”に低損失のCSTBT(Carrier Stored Trench-gate Bipolar Transistor：当社独自キャリア蓄積型トレンチゲート)構造の第6世代IGBTを搭載した耐圧1,700V級の製品を新規ラインアップする。

1,700V級の“第6世代NXシリーズ”では，次の点をコンセプトとして新規開発を行った。

(1)　スタンダードパッケージの採用

欧州を中心として産業市場でスタンダードであるパッケージを採用することで，既存製品(当社耐圧1,200V・600V級のNXシリーズや他社標準製品)との互換性があり，ユーザーのユニット設計の省力化に貢献する。

(2)　AC690V電源対応の絶縁設計

UL840規格に準拠したAC690V電源設計に対応した絶縁距離を確保しつつ，NXシリーズの外形サイズ，端子配置を踏襲した新規パッケージを開発する。

(3)　損失の低減

第6世代IGBTと高速動作に最適化したFWDi(Free Wheeling Diode)で製品を構成し，第5世代製品比約20%の損失低減を達成する。

2 in 1タイプ中型パッケージ

2 in 1タイプ大型パッケージ
(当社オリジナル)

1,700V NXシリーズ製品ラインアップ

形名	定格電流	回路
CM150DX-34SA	150	2in1
CM200DX-34SA	200	
CM300DX-34SA	300	
CM450DXL-34SA	450	
CM600DXL-34SA	600	
CM75RX-34SA	75	7in1
CM150RXL-34SA	150	
CM75MXA-34SA	75	CIB

CIB：Converter Inverter Brake

耐圧1,700V級の“第6世代NXシリーズ”の外観と製品ラインアップ

耐圧1,700V級IGBTモジュール“NXシリーズ”の2 in 1タイプの外観と，同シリーズのラインアップを示す。

*パワーデバイス製作所

1. まえがき

IGBTモジュール“NXシリーズ”は，スタンダードな端子配置と低損失性を特長として，産業用市場の汎用インバータ，ACサーボ等の幅広い応用機器製品で使用されている。これまで1,200V・600V級NXシリーズでは共通の部品を組み合わせることで電極端子の配置や形状を客先の様々なニーズに対応できるよう自由度が高い設計で製品を実現してきた。しかし，1,700V級のIGBTモジュールに必要なAC690V級の電源設計に対応した絶縁距離を持っていなかったため，1,700V市場に対してはNXシリーズを展開していなかった。

今回，1,700V級に広い市場をもつ欧州をターゲットとし産業用途向け市場でのシェア拡大を図るため，AC690V電源に対応したパッケージを新規に開発した。また，性能面でも従来製品（第5世代IGBTチップ搭載）に対して，第6世代IGBTと高速動作に最適化したFWDiの組合せによって従来製品より損失を20%低減し，高温での動作保証も実現した。

本稿では，1,700V級の第6世代NXシリーズの特長について述べる。

2. 開発製品の特長

2.1 1,700V耐圧対応のNX用パッケージ開発

新規パッケージ開発では既存パッケージの外形サイズ，端子位置の踏襲とUL840規格に準拠したAC690V電源対応の絶縁設計をコンセプトとして設計を行った。

2.1.1 既存製品との端子位置の共有化

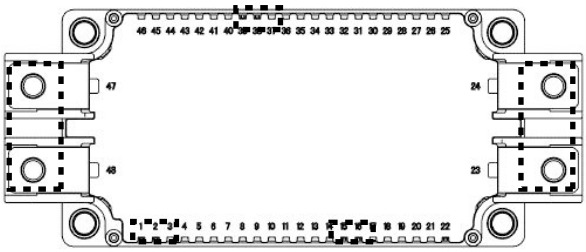
既存パッケージと新規パッケージのレイアウト比較を**図1**に示す。今回開発した新規パッケージは1,200V・600V級NXシリーズと端子位置を共通化している。これによって，アプリケーション側の駆動回路・ユニットの端子配置も同一にすることができる。また，他社ラインアップでも共通の端子配置の製品が展開されているスタンダードなパッケージであるため，従来1,700V級で他社製品を採用していたユーザーの新規開発時でもユニット設計の省力化に貢献できると考える。

2.1.2 AC690V電源に対応可能な絶縁設計

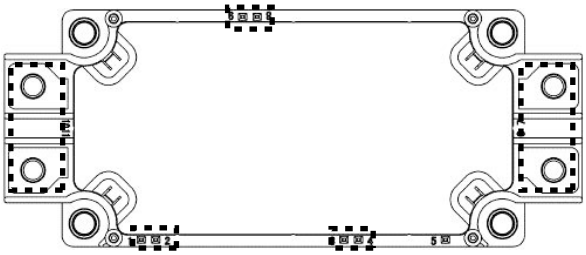
UL840規格に準拠したAC690V電源に対応するためには異電極間に空間距離8mm，沿面距離16mm以上の確保が必要である。新規パッケージではケース上に絶縁距離を確保するために段差の設置やケース高さの変更を行っている。**図2**に示すCIBタイプのように，ピン端子を並べたレイアウトでは，ピン端子部に段差を設けることで異電極間や電極-ベース板間，ねじ取付け部の沿面距離を確保している。この変更によってピン端子の露出部が既存パッケージより少なくなるが，ピン端子部の段差の高さをスタンドオフ（駆動回路取付け用ねじ穴）の高さ以下に設計したことで，駆動回路基板を製品上に設置する際の高さは既存パッケージと共通となる。

2.2 製品の性能，特性

今回開発した1,700V級のNXシリーズで第6世代IGBTと高速動作に最適化したFWDiを組み合わせることで低損失な製品を開発した。**図3**に示すPWM（Pulse Width Modulation）インバータ動作のシミュレーション結果から，第5世代製品比で約20%の損失改善を確認している。また，第6世代IGBTは構造の最適化によって高温時に熱暴走しにくい設計としており，1,200V級第6世代製品と同様に動作時のジャンクション温度（T_j）の最大保証温度を従来製品より25℃高い175℃保証としている。

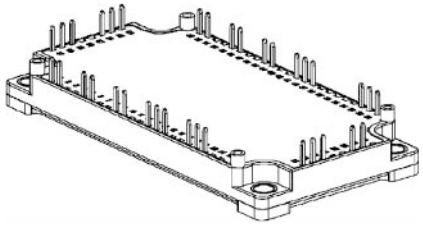


(a) 既存パッケージ

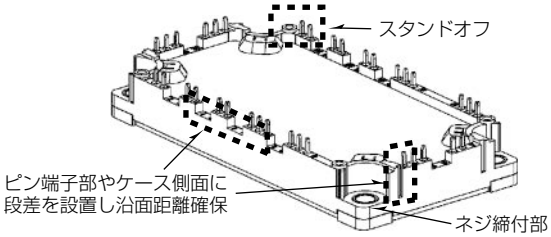


(b) 新規パッケージ

図1．端子レイアウト比較（2 in 1 タイプ）



(a) 既存パッケージ



(b) 新規パッケージ

図2．新規パッケージの絶縁設計（CIBタイプ）

2.2.1　損失の低減

IGBTモジュールの損失はIGBTとFWDiのスイッチング損失と定常損失に分解される。1,700V級の第6世代NXシリーズでは第6世代IGBTを採用することで，ターンオフ損失(E_{off})とIGBTの定常損失となるコレクタ・エミッタ間飽和電圧($V_{CE(sat)}$)のトレードオフを改善している(**図4**)。FWDiは高速動作に最適化した仕様とした。FWDi側のスイッチング損失と定常損失では，1,700V級のNXシリーズの使用が想定される条件“キャリア周波数(f_c)：8kHz”で，**図3**に示すようにインバータ動作の損失比はスイッチング損失が支配的となっている。このことから，第6世代NXシリーズでは逆回復損失(E_{rr})を従来よりも約29%小さくした。この時，トレードオフ関係からエミッタ・コレクタ間電圧(V_{EC})が高くなるが(**図5**)，FWDi側のスイッチング損失と定常損失の総和としては第5世代製品比で約20%の低減に成功した。また，ターンオン損失(E_{on})ではIGBTチップ，FWDiチップの双方の損失低減効果によって約30%損失低減している。これは，第6世代IGBTでコレクタ・ゲート間容量を低減することでE_{on}損失の要因であるV_{CE}のテール部を低減し，先に述べたFWDiを高速仕様とすることで第5世代製品と比べてターンオン時のリカバリー電流直後のテール電流のキャリアを低減することで損失の発生を抑制できたからである(**図6**)。

2.2.2　高温動作領域

この製品では，材料として高温時のリーク電流を抑制した第6世代IGBTと高T_j化対応のシリコンゲル(モジュール内部を絶縁するための充填材)を採用することで高温動作を可能としており，最大接合温度(T_{jmax})を第5世代製品より25℃引き上げた175℃保証としている。また，破壊耐量としては，短絡耐量(Short Circuit Safe Operating Area：SCSOA)はT_j＝150℃でパルス幅10μsの非破壊遮断が可能(**図7**)であり，逆バイアス安全動作領域(Reverse

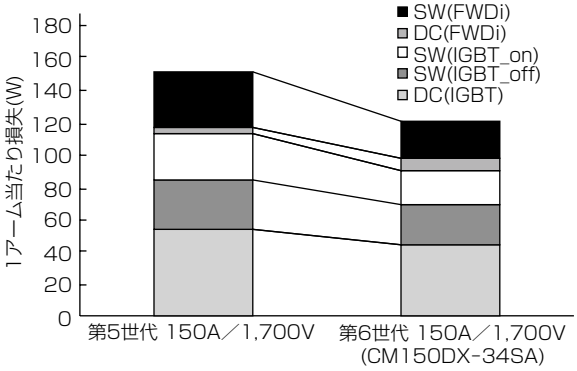


図3．インバータ動作時の損失

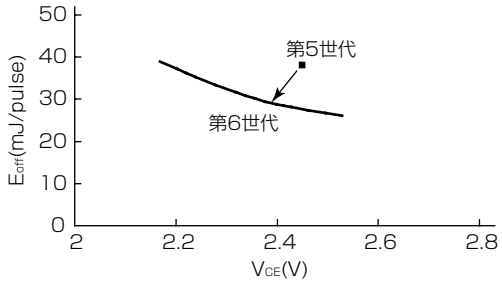


図4．E_{off}–V_{CE}トレードオフ

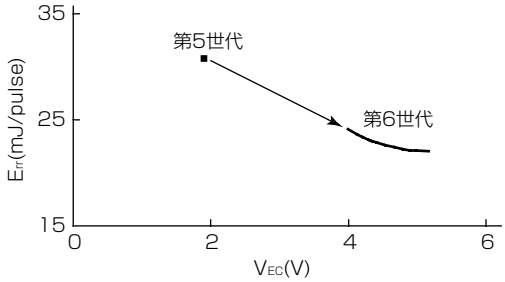


図5．E_{rr}–V_{EC}トレードオフ

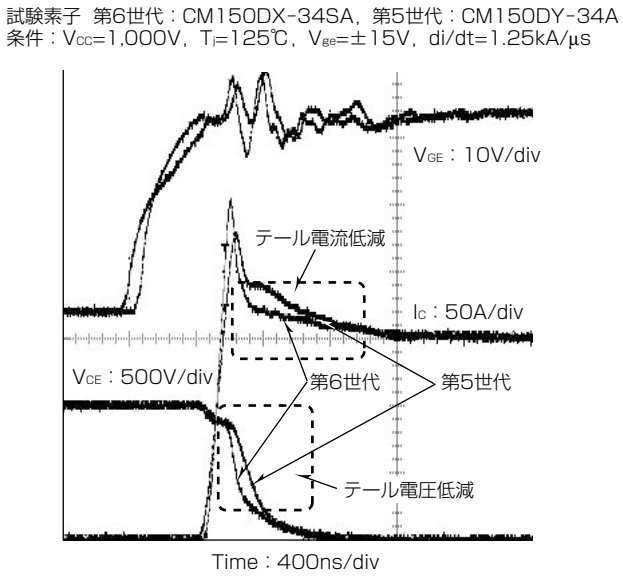


図6．ターンオン波形

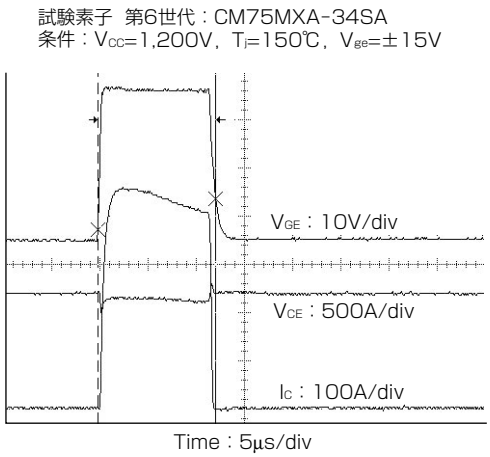


図7．SCSOA波形

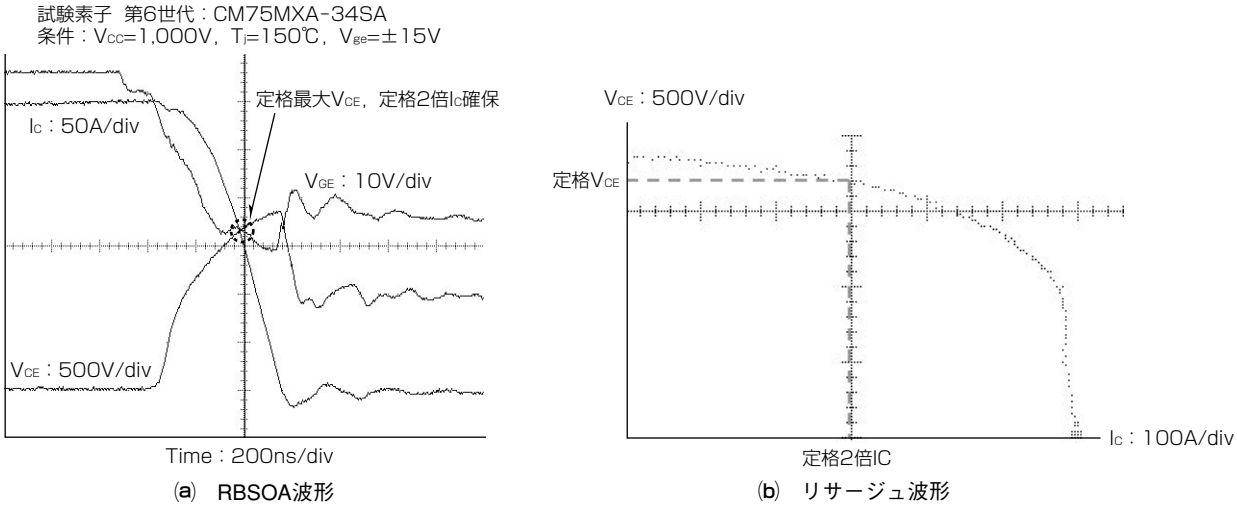


図8．RBSOA

Bias Safe Operation Area：RBSOA）はT_j＝150℃でコレクターエミッタ間の最大定格1,700V，コレクタ電流は定格2倍の領域を確保している（**図8**）。

3. 製 品 展 開

表1に製品ラインアップ（2012年5月時点）を示す。今回の開発によって産業用途向けの1,700V級のIGBTモジュール市場に対して2in1に加えて新たに7in1，CIBの回路構成の製品を展開する。多様な回路構成と電流定格（50～600A）のラインアップとしたことで，様々な応用機器のユニットレイアウトへの適用が可能となると考える。

4. む す び

今回，欧州市場を中心としてスタンダードタイプであるNXシリーズのパッケージに第6世代IGBTを搭載させたIGBTモジュールを新たに1,700V市場に展開する。低損失かつ電流定格，回路構成，パッケージ外形に豊富なラインアップをもつ“第6世代NXシリーズ”を1,700V級へと拡大展開することで，市場のニーズに合わせた製品を提供できると考える。

表1．1,700V NXシリーズ製品ラインアップ

形名	定格電流	回路
CM150DX-34SA	150	2 in 1
CM200DX-34SA	200	
CM300DX-34SA	300	
CM450DXL-34SA	450	
CM600DXL-34SA	600	
CM75RX-34SA	75	7 in 1
CM150RXL-34SA	150	
CM75MXA-34SA	75	CIB(注1)

（注1） CIBの主端子はピンタイプ

参 考 文 献

(1) 西山建人，ほか：6世代IGBTモジュール“NXシリーズ”，三菱電機技報，**84**，No. 4，240～243（2010）