

アモルファスモルトラ「FM-AT14」

Amorphous MOLTRA “FM-AT14”

渡辺 賢治* WATANABE, Kenji

地球温暖化防止を背景に、受変電設備においては節電対策が重要な課題となっており、省エネルギー（省エネ）性の高い電気機器のニーズが高まっている。現在、国内には約 260 万台の高圧配電用変圧器が設置されており、製造年代ごとの損失特性、総出荷台数、平均容量を基に試算すると、エネルギー損失の総量は約 165 億 kWh/y（CO₂ 換算で約 62 億 kgCO₂/y）という膨大な量になる。したがって、効率の高い変圧器への置換えは大きな省エネ効果をもたらすことになる。モールド変圧器においては、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）の特定機器として 2014 年度から第二次トッランナー^{（注1）}基準が導入された。

富士電機は、2013 年 6 月に「トッランナーモルトラ 2014」を単相 10～500 kVA、三相 20～2,000 kVA のラインアップで発売した。従来の製品に比べて変圧器の発生損失を 40% 低減し、第二次トッランナー基準を満足させた。さらに、2015 年 6 月には第二次トッランナー基準の目標効率に対して 130% の達成率^{（注2）}となるアモルファスモルトラ「FM-AT14」を発売した（図 1）。本稿では、変圧器の鉄心材料に採用したアモルファス合金の特徴と FM-AT14 について述べる。

1 アモルファス合金の特徴

FM-AT14 に、変圧器の鉄心材料として従来の方向性



図 1 「FM-AT14」

* 富士電機株式会社産業インフラ事業本部千葉工場設計第一部

電磁鋼帯に代えてアモルファス合金を採用した。アモルファス合金と方向性電磁鋼帯の特徴を図 2 に、特性を図 3 に示す。アモルファスとは非結晶の意味であり、アモルファス合金は、原子が周期的に配列された結晶構造ではなく、不規則な状態のまま凝固したものである。変圧器の損失には、負荷に関係なく発生する無負荷損（鉄損）および負荷電流の 2 乗に比例して発生する負荷損（銅損）がある。アモルファス合金は、無負荷損の大きな割合を占めるヒステリシス損失と渦電流損失を小さく抑える特徴を持つ素材であり、これを用いた変圧器は無負荷損を非常に小さく抑えることができる。

このような特徴を持つアモルファス合金であるが、変圧器の鉄心材料に採用する場合は、体積の増大への対策

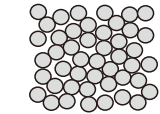
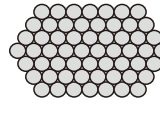
項目	アモルファス合金	方向性電磁鋼帯
原子配列	 不規則（非結晶） →ヒステリシス損失小	 規則的（結晶） →ヒステリシス損失大
板厚	0.025 mm →渦電流損失小	0.23～0.35 mm →厚さに比例して渦電流損失大

図 2 アモルファス合金と方向性電磁鋼帯の特徴

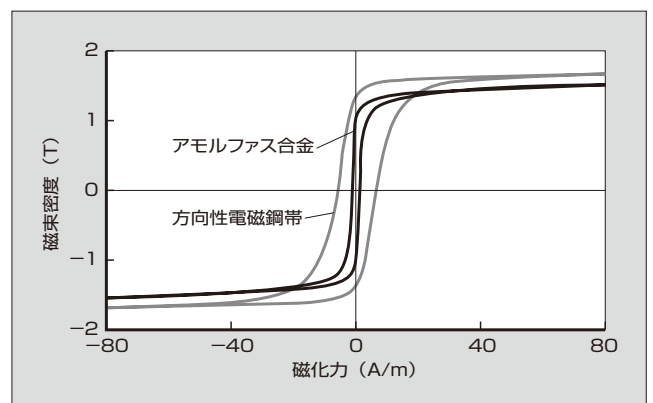


図 3 アモルファス合金と方向性電磁鋼帯の特性

〈注 1〉 第二次トッランナー基準：トッランナー変圧器第二次判断基準を指す。JIS C 4306 配電用 6kV モールド変圧器で規定される。

〈注 2〉 達成率：トッランナー変圧器第二次判断基準の基準エネルギー消費率（W）に対する抑制割合を指す。

および剛性や加工性などに関する課題を解決する必要がある。

② 「FM-AT14」の概要

2.1 特徴

- (a) トップランナーモルトラ 2014 に対して待機電力を 1/3 に低減した。
- (b) 第二次トップランナー基準の目標効率に対して 130% の達成率となる省エネを実現した。
- (c) 全容量において巻線に真空注型を採用し、絶縁信頼性の高いモールド巻線を実現した。
- (d) 高い難燃性を実現し、IEC 60076-11 の形式認定を取得した。
- (e) JEM-TR 252 準拠の優れた耐震性を実現した。

2.2 仕様

表 1 に FM-AT14 の仕様を示す。

2.3 製作上の課題と対策

アモルファス合金は、方向性電磁鋼帯よりも飽和磁束密度が低く、通すことができる磁束密度も低い。このため、アモルファス合金を使った FM-AT14 は、方向性電磁鋼帯を使ったトップランナーモルトラ 2014 よりも鉄心の体積が大きくなる。また、板厚が方向性電磁鋼帯の 1/10 であり強度が低いため、変圧器の鉄心として自立させる構造上の工夫が必要である。さらに、アモルファス合金に掛かる荷重の大きさや分布によって騒音や特性に悪影響を及ぼさないように、剛性や加工性を考慮した構造上の工夫も必要である。

モルトラは配電用変圧器として配電盤内に設置されるため、省スペース化を考慮する必要がある。FM-AT14 は、設置面積がなるべく大きくならないように、高さ方向への拡大によって体積の増加に対応した。しかし、高さ方向への拡大は剛性への悪影響や変圧器の温度上昇を招く。

今回の開発に当たっては、これらの課題を次に示す対策により解決し、製品化を果たした。

- (a) 特性への影響を考慮したアモルファス合金の固定方法の最適化
- (b) 耐震性を考慮した変圧器全体の剛性の強化

表 1 「FM-AT14」の仕様

項目	仕様	
相数	単相	三相
周波数	50, 60 (Hz)	
定格容量	50, 75, 100, 150, 200, 300 (kVA)	75, 100, 150, 200, 300, 500 (kVA)
一次電圧	R6600-F6300-6000 (V) (単相50kVAのみ) F6750-R6600-F6450-F6300-6150 (V)	
二次電圧	210-105 (V)	210, 420, 440 (V)
耐熱クラス	F	

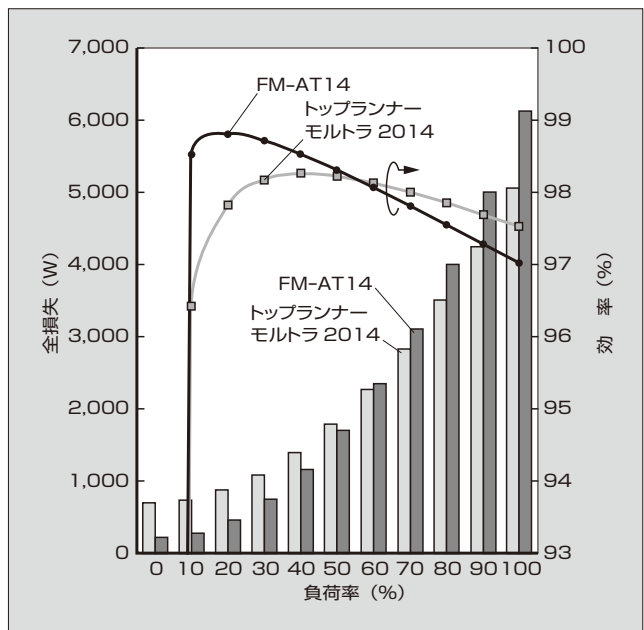


図 4 「FM-AT14」と「トップランナーモルトラ 2014」の全損失・効率

- (c) 変圧器の最適な組立方法
- (d) 最適な巻線設計と冷却構造の適用

③ 変圧器の種類と容量の選定

FM-AT14 とトップランナーモルトラ 2014 において、負荷率を変化させて全損失と効率を比較した結果を図 4 に示す。FM-AT14 は、低負荷率での効率が特に優れている。しかし、負荷率が高くなると FM-AT14 は体積が大きく巻線長が長いために、負荷損が全損失に大きく影響し、トップランナーモルトラ 2014 の方が効率において優位に立つ。

工場、ビル、ショッピングモールなどにおける使用電力量とその時間帯はさまざまである。したがって、変圧器の種類と容量の選定に当たっては、電力会社の時間帯別電力料金の設定も加味し、適切な変圧器を選択してむだなエネルギーとコストを抑えて運用することが肝要である。

富士電機は、FM-AT14 とトップランナーモルトラ 2014 のラインアップを取りそろえ、ユーザに最適なモルトラを提供できる体制を整えている。

発売時期

2015 年 6 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
産業インフラ事業本部千葉工場設計第一部モルトラ課
電話 (0436) 42-8130

(2015 年 10 月 15 日 Web 公開)

サーキットプロテクタ「CP30F シリーズ」

Circuit Protector “CP30F Series”

江村 武史* EMURA, Takeshi

サーキットプロテクタは、機器内の回路を保護するための過電流保護機能と、スイッチとしての機能を併せ持つ遮断器であり、近年のFA 機器、OA 機器、コンピュータおよび周辺機器の進展とともに普及が拡大している。

富士電機は、制御回路用サーキットプロテクタとして、1983年に「CP-D シリーズ」を、1993年に「CP-F シリーズ」を発売し、好評を得てきた。発売当時に比べてユーザーのニーズは多様化し、かついっそう高度化してきている。富士電機は、こうしたニーズを踏まえ、安全性と配線時の作業性を向上させたサーキットプロテクタ「CP30F シリーズ」を開発した(図1)。本稿では、CP30F シリーズの特徴について述べる。

1 開発の狙い

制御回路用サーキットプロテクタをはじめとする制御盤用のコンポーネントに対するユーザーの主な要求は、次のとおりである。

- (a) 制御盤の小型化に対応したコンポーネントの小型化
- (b) 高機能化、複雑化する機械に対する安全性の向上
- (c) 配線時の作業性の向上などによる、トータルコストダウンを可能とする製品構成
- (d) 国内向けと輸出向けの同一設計が可能な仕様

2 製品の特徴

図2に製品の内部構造を示す。主な特徴は次のとおり

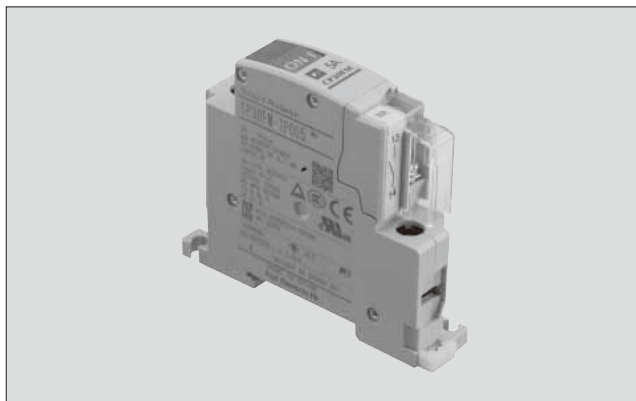


図1 「CP30F シリーズ」

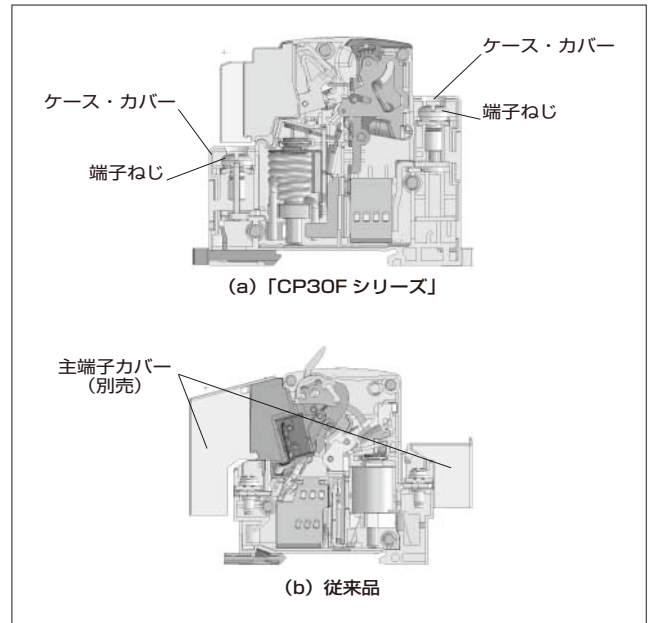


図2 製品の内部構造

である。

- (a) 主回路の端子カバーの機能を本体に一体化して製品を小型化し、体積は20%減、専有面積は20%減を達成した。
- (b) 指が充電部に触れないようにIP20構造を標準で採用して、安全性を確保した。
- (c) ねじを外さずに丸型圧着端子を配線できるねじアップ構造を採用した。また、端子配列を見直して主端子と補助端子の配線作業の順序をなくしたことで、主端子と補助端子の増し締めが個別に可能となり、配線時の作業性が向上した。
- (d) 国内と海外で同一仕様のサーキットプロテクタで対応できるようにするため、主要な国内・海外規格に適合させた。IEC, CCC, UL/SCA, KC, PSE (JIS) を標準で取得している。

3 仕様

表1にCP30Fシリーズの主な仕様を示す。サーキットプロテクタの仕様は、対象となる装置や機器によってさまざまなものが必要である。CP30Fシリーズは、従来品と同じ極数、定格電流、動作特性のバリエーションを持ちながら、端子部の構造を刷新して安全性と配線時の作

* 富士電機機器制御株式会社開発本部受配電開発部

表1 「CP30F シリーズ」の主な仕様

	CP30Fシリーズ	CP-Fシリーズ (従来品)
極数	1, 2, 3	
外形寸法 (幅×縦×奥行)	17.5×73×66 (mm)	17.5×92.6×65 (mm)
主端子構造	ねじアップ構造	ねじ
主端子カバー	ケース・カバーに統合	別売
定格電流	0.1 ~ 30 A	
定格使用電圧	AC250V DC65V	AC240V DC60V
動作特性	低速, 中速, 瞬時	
遮断容量	2.5kA	
補助端子	ねじ端子	
補助端子カバー	付属	別売

業性が大幅に向上した。

④ 端子部の構造と配線作業性の向上

従来品では、増し締め時に端子カバーを取り外す必要があり、配線時にねじを誤って紛失する恐れがあった。CP30F シリーズでは、図3に示すように端子ねじの座金にスプリングを配置し、端子ねじを緩めると座金と一緒に端子ねじが持ち上がるねじアップ構造を採用した。これにより、端子ねじを取り外すことなく丸型圧着端子の付いた電線を接続できるようにした。また、図4に示すように、端子ねじの外側をケース・カバーで覆い、指が

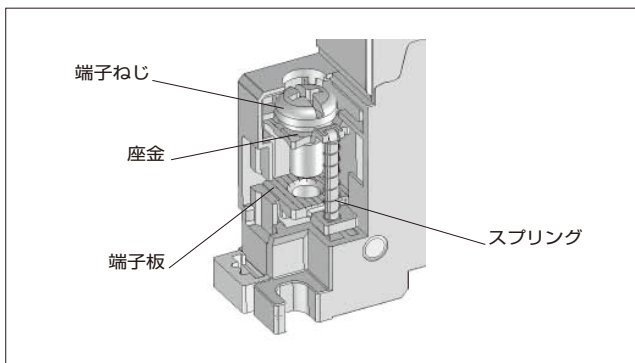


図3 ねじアップ構造

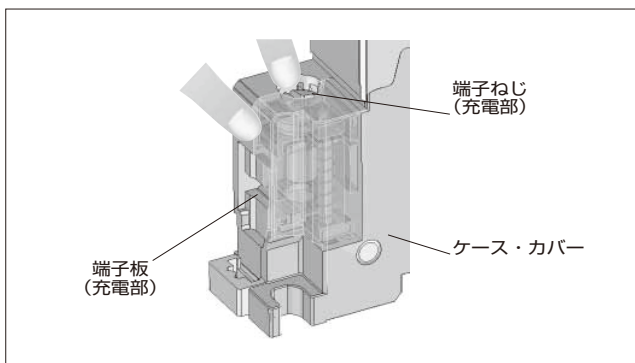


図4 IP20 構造

表2 主端子の配線に必要な作業

	CP30Fシリーズ	CP-Fシリーズ (従来品)
ねじを緩める	—	○
ねじを外す	—	○
ねじを圧着端子と合わせる	—	○
圧着端子を端子板に合わせる	○	○
ねじを締める	○	○
主端子カバーを付ける	—	○

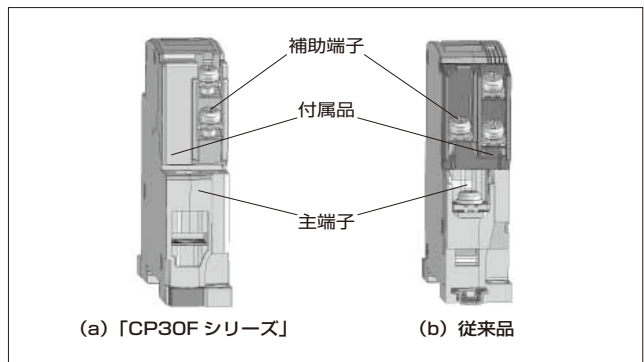


図5 主端子と補助端子の位置関係

充電部に触れない IP20 構造とした。

このねじアップ構造と IP20 構造の二つを組み合わせることにより、表2に示すように CP30F シリーズは従来品に比べて必要な作業が少なく、配線時の作業性が向上している。

さらに、図5に示すように主端子と補助端子の位置関係を見直している。従来品では、補助端子が左右両方にあるために、主端子、補助端子の順に接続する必要があり、また、保守作業で主端子を増し締めする際は、付属品の配線が邪魔になっていた。CP30F シリーズでは、補助端子の位置を右側にまとめることにより、主端子と補助端子の順序を問わず配線できるようになるとともに、主端子の増し締めだけを行うことができる。

発売時期

2015年7月

お問い合わせ先

富士電機機器制御株式会社
事業統括本部業務部受配機器課
(03) 5847-8060

(2015年11月13日 Web 公開)

第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュール

7th-Generation "X Series" IGBT Module

川畑 潤也* KAWABATA, Junya

百瀬 文彦** MOMOSE, Fumihiko

小野澤 勇一** ONOZAWA, Yuichi

近年、エネルギー消費量の増加に伴うエネルギー資源の枯渇や、CO₂ 排出量の増加による地球温暖化の加速が世界的に深刻な問題となっている。このような中、産業、民生、自動車、再生エネルギーなどのさまざまな分野でパワー半導体デバイスを用いた電力変換装置の適用が広がっており、ここにはIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールが主に用いられている。電力変換装置の今後のさらなる普及のためには、装置の小型化 (コストダウン) や高効率化 (低損失化)、高信頼性が不可欠である。

富士電機では電力変換装置のさらなる小型化・高効率化・高信頼性化を実現するために、新たなチップ技術およびパッケージ技術を適用した第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールを開発した (図1)。XシリーズIGBT モジュールでは、IGBT と FWD (Free Wheeling Diode) のチップの小型化・低損失化のみならず、高温動作時に低下が懸念される種々の特性を向上させることにより信頼性の向上も実現させた。パッケージの放熱性、耐熱性ならびに信頼性の向上により、IGBT の連続動作時の最高温度 T_{jcp} を第6世代「Vシリーズ」IGBT モジュールよりも25℃高い175℃に向上させた。

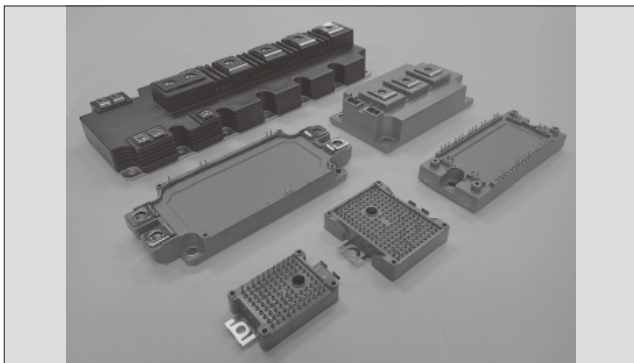


図1 第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュール

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部モジュール技術部

** 富士電機株式会社技術開発本部電子デバイス研究所次世代モジュール開発センターパッケージ開発部

** 富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部デバイス開発部

1 特徴

IGBT モジュールの小型化・低損失化と $T_{jcp}=175℃$ の実現により、図2に示すようにVシリーズIGBT モジュールに比べて出力電流が約35%増加し、電力変換装置のさらなる高パワー密度化による小型化を可能にした。

1.1 IGBT モジュールの小型化・低損失化

XシリーズIGBT モジュールは、IGBT と FWD の低損失化、ならびにパッケージの高放熱化と高信頼性化により、さらなる小型化・低損失化を達成した。

例として、EP2パッケージを適用した1,200V・75A定

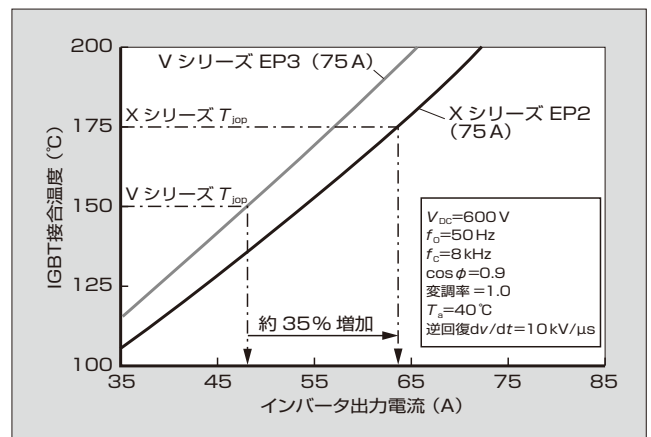


図2 インバータ出力電流と IGBT 接合温度

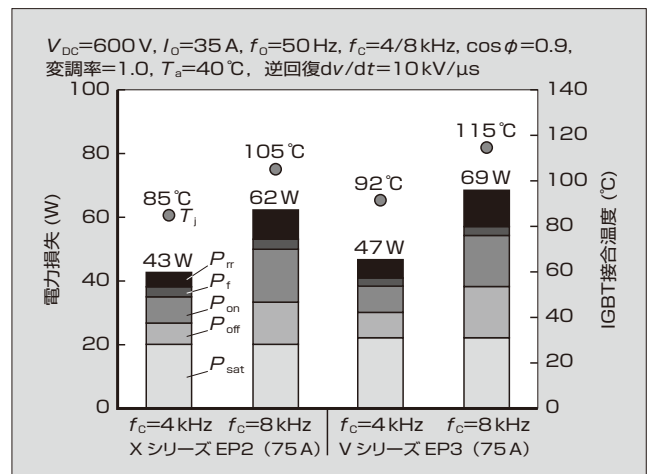


図3 通常運転時の電力損失と IGBT 接合温度

表1 第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールのラインアップ

パッケージ	回路構成	外形 W×D (mm)	定格電流		
			650 V定格製品	1,200 V定格製品	1,700 V定格製品
Small PIM1	PIM	33.8×48	10, 15, 20, 30 A	10, 15 A	—
Small PIM2		56.7×48	50 A	25, 35 A	—
EconoPIM*2		45×107.5	50, 75, 100 A	35, 50, 75 A	—
EconoPIM3		62×122	100, 150 A	75, 100, 150 A	—
EconoPACK*	6 in 1	62×122	—	100, 150, 200 A	—
Std. 2in1	2 in 1	34×94	100, 150, 200 A	100, 150, 200 A	75, 100, 150 A
		45×92	300, 400 A	200, 300 A	—
		62×108	400, 600 A	300, 400, 450, 600 A	150, 200, 300, 400 A
		80×110	600 A	450, 600 A	300, 400 A
Dual XT		62×150	—	300, 450, 600, 800 A	300, 450, 600, 800 A
EconoPACK+	6 in 1	150×162	—	300, 450, 600 A	300, 450 A
PrimePACK*2	2 in 1	89×172	—	600, 900, 1,200 A	650, 1,200 A
PrimePACK3		89×250	—	1,400, 1,800 A	1,000, 1,400, 1,800 A

* EconoPIM, EconoPACK, PrimePACK : Infineon Technologies AG の商標または登録商標

格製品について述べる。Vシリーズ IGBT モジュールの最大電流定格は 50 A であったが、Xシリーズ IGBT モジュールは、IGBT と FWD の低損失化とパッケージの高放熱化によってチップサイズを小型化し、同一パッケージで 75 A まで拡大した。同じ電流定格で比較すると、従来は EP3 パッケージを使用していたところで EP2 パッケージに置き換えることによって、フットプリントを約 36% 低減した。図 3 に通常運転時の電力損失と IGBT 接合温度の比較を示す。Vシリーズ IGBT モジュールに比べて、電力損失は約 10%、接合温度は 10℃ 低下し、小型化と低損失化が可能になった。

1.2 $T_{jop}=175^{\circ}\text{C}$ の実現

Xシリーズ IGBT モジュールでは、電力変換装置のさらなる高出力電流化を可能とするため、高温動作時の特性や耐量、ならびにパッケージの耐熱性や信頼性を向上させたことで、 T_{jop} を従来の 150℃ から 175℃ に向上した。

1.3 製品ラインアップ

表 1 に Xシリーズ IGBT モジュールのラインアップを示す。

2 背景となる技術

2.1 IGBT と FWD の低損失化

IGBT モジュールを小型化するためには、IGBT と FWD の損失を大幅に低減してチップサイズを小型化することが不可欠である。IGBT と FWD のオン電圧とスイッチング損失の関係を示すトレードオフ特性を図 4 に示す。第 7 世代 IGBT はドリフト層の薄化、ならびに表面ゲート構造の最適化によってオン電圧を大幅に低減するとともに、ミラー容量の低減によってターンオフ損失を低減した。

また、第 7 世代 FWD においても、ドリフト層の薄化

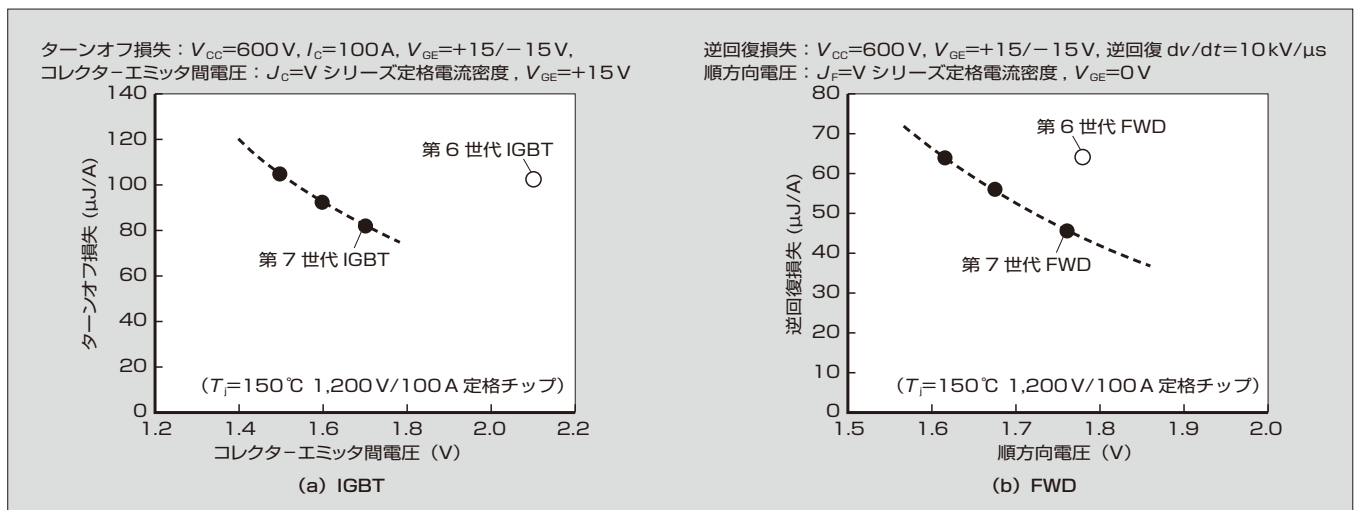


図 4 トレードオフ特性

による順方向電圧の低減に加えて、少数キャリアライフタイムコントロールの最適化によって、逆回復損失の低減と滑らかな逆回復波形を実現した。このような大幅な損失低減などにより、第7世代のIGBTとFWDはチップサイズの小型化を実現した。

2.2 高放熱のAlN絶縁基板

チップサイズと製品の小型化によるパワー密度の上昇は、IGBT接合温度の上昇や熱集中を引き起こす。この課題を解決するために、高放熱の新しいAlN（窒化アルミニウム）絶縁基板を開発した。AlNは高放熱のセラミックスとしてよく知られており、XシリーズIGBTモジュールでは長期信頼性のさらなる向上と低熱抵抗化を実現した。開発したAlN絶縁基板は、セラミックスの焼成条件の見直しにより曲げ強度を向上させたことで、従来のAlN絶縁基板に比べて大幅に薄くしたことにより、熱ストレスが緩和し、温度サイクル耐量が大幅に向上した。また、熱抵抗も約45%低減し、小型化に伴うIGBTの接合温度の上昇という課題を解決した。

2.3 高信頼性・高耐熱パッケージ

$T_{jop}=175^{\circ}\text{C}$ の実現に当たって課題となるのが、熱ストレスの繰返しに対するパッケージの寿命（ ΔT_j パワーサ

イクル耐量）の低下とシリコーンゲルの長期絶縁性能の低下である。XシリーズIGBTモジュールでは、チップ上のアルミニウムワイヤとチップ下はんだの材料や接合方法を最適化し、 ΔT_j パワーサイクル耐量がVシリーズIGBTモジュールに比べて約2倍向上した（ $T_{jmax}=175^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta T_j=50^{\circ}\text{C}$ ）。また、従来のシリコーンゲルは 175°C の環境下では硬化しやすく、ゲルが裂けて絶縁性能が低下することが課題であった。開発したシリコーンゲルは、組成を見直して 175°C 環境下での硬化を抑制し、長期的な絶縁性能を確保した。これらの新技術によって、XシリーズIGBTモジュールでは $T_{jop}=175^{\circ}\text{C}$ が可能となり、さらなる高信頼性化を実現した。

発売時期

2015年8月から順次サンプル展開

2016年4月から順次量産

お問い合わせ先

富士電機株式会社

営業本部半導体統括部営業第1部

電話 (03) 5435-7152

