

富士電機のトッランナーモーター —プレミアム効率モーター「MLU・MLK シリーズ」—

Top Runner Motor of Fuji Electric—
Premium Efficiency Motor “MLU and MLK Series”

館 憲弘* TACHI Norihiro

近年、地球の温暖化を防止するためエネルギーの使用を削減する動きが世界的にある。日本も「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)においてトッランナー方式を採用し、対象機器を拡大してきた。三相誘導電動機(モーター)についても2015年からその対象となる。

富士電機は、スロット形状やコア材などの最適化によってトッランナー方式による効率基準(トッランナー基準)を満足したモーター「MLU・MLKシリーズ」を発売した。本製品は低騒音化も実現し、省エネルギー(省エネ)以外にも環境に配慮した製品である。

1 特徴

トッランナー方式によるプレミアム効率モーター「MLU・MLKシリーズ」の主な仕様を表1に示す。

(1) 高効率化

トッランナー基準を満足させるため、銅損、鉄損、機械損失を低減し、効率を3~10%向上させた。

モーター効率の国際規格として、IEC(国際電気標準会議)のIEC 60034-30“回転電気機械—第30部:単一速度三相かご形誘導電動機の効率クラス(IEコード)”がある。現在の標準モーターの効率は、図1に示す標準効率(IE1)のレベルである。これに対し、本製品はプレミアム効率(IE3)のレベルを満足している。

(2) 従来品との互換性

モーターは既設品の置換え需要が多いため、従来品と寸

表1 「MLU・MLKシリーズ」の主な仕様

項目	仕様
外被構造	全閉外扇形 屋内または屋外
形式	MLU(鋳鉄フレーム) MLK(鋼板フレーム)
出力	0.75~375(kW)
極数	2, 4, 6
枠番号	80M~355M
定格	S1(連続)
耐熱クラス	155(F)
回転方向	CCW(負荷側から見て反時計方向)
塗装色	マンセルN1.2(黒ツヤなし)

* 富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所回転機技術開発部

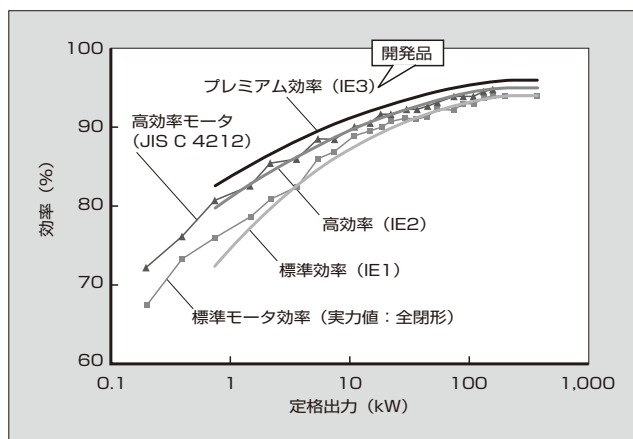


図1 効率クラス別のモーター効率値

法および電気特性の互換性が重要である。

外国の規格における寸法の規定は、枠番号(ベース底から軸中心までの距離に対する軸や脚幅などの寸法)で、出力・極数ごとの寸法の規定はない。一方、2013年度中に制定予定のJIS C 4213では、枠番号および出力・極数ごとの各部寸法の規定となる予定である。

JIS C 4213に準拠した上で、本製品は置換えを容易にするため、既設の電磁開閉器の遮断電流を超えない仕様とした。

(3) 低騒音化

作業環境を改善するために、機器の低騒音化の要求は強く、機器の駆動源であるモーターの低騒音化のニーズは強い。MLUでは、鋳鉄製のフレームの採用による剛性の向上や冷却ファンの最適化などによって、従来品(IE1)に対し、5~8dBの低騒音化を実現している。なお、鋼板フレームを採用したMLKにおいても最大で騒音を5dB低減している。

(4) 長寿命化

耐熱クラスF種の絶縁を標準で採用したことにより、モーターの絶縁寿命は従来品(IE1, IE2)に対し、約4倍長くなった。また、周囲温度50℃での使用も可能にした。

(5) 耐サージ性の向上

ファン・ポンプの省エネ化を図るには、流量調整をダンパーなどで行うよりもインバータによる回転速度調整で行う方が効果的である。そこで、本製品は、パルス状の急峻(きゅうしゅん)な波形の電圧を発生するインバータで駆動しても問題ないように耐サージ性を約10%向上させた。

(6) 耐食性の向上

MLUでは、軽量化のためアルミニウム合金ダイカストフレームを採用するメーカーが多い中で、耐食性を向上させるために铸铁フレームを採用した。

2 モータ高効率化の背景と規格

図2に示すように、モータは、ファン・ポンプなど各種産業機器の駆動源として広く使用されている。これは、全世界の電力消費の40%を占めている(図3)。仮に全てのモータの効率を1%向上させると、全世界における1年間の電力消費量を800億kWh、CO₂排出量を3,200万t削減できる。

日本では、インバータ技術と組み合わせたシステムとして省エネを推進してきたため、モータそのものの高効率化はほとんど手付かずの状態であった。このため、高効率モータ(JIS C 4212)の年間の出荷実績は、わずか1~3%程度であった。

一方、欧米をはじめとするエネルギー消費大国にとって、モータの高効率化は、電力消費量やCO₂排出量を削減するための非常に効果的な施策と位置付けられ、モータ単体での効率向上を図る動きが活発化している。

米国では高効率(IE2)とプレミアム効率(IE3)の合計が90%となっている。欧州ではIE2の普及が過半数を

超えていると想定される上、2015年にはIE3での規制が始まる予定である。これに対し、日本もようやくトップランナー基準による効率規制が始まることになる。

日本でのトップランナー基準は、IE3をベースにししながら日本独自の電源である3種類の定格電源を考慮した規制となっている。すなわち、200V/50Hzおよび220V/60Hzの効率規制値はIE3に準拠しているのに対し、200V/60HzはIE3に係数を掛けたIE2相当の値を規制値とし、また、目標基準値を欧州ほど細かいものではなく、およそ1/3の36区分に分けて設定している。

3 背景となる技術

図4に、モータの構造断面と損失低減策を示す。モータの各部で損失が発生しており、効率規制値を満足させるためには、損失が発生する全ての部位で低減する必要がある。特に、全体の約50%を占める銅損(一次および二次)と約30%を占める鉄損の低減が重要である。

(1) 銅損の低減

一次銅損は、モータ巻線の電気抵抗と電流とによるジュール損失である。固定子スロット形状の最適化や、巻線の充填率を向上させて導体の断面積を増やすこと、およびコイルエンドを短縮して導体長を短縮することにより、電気抵抗を小さくして銅損を低減した。

また、回転子スロット形状を見直し、二次銅損の低減とトルク特性および電流特性の最適化との両立も図った。

(2) 鉄損の低減

鉄損は、鉄心内の磁束の変化によって発生する渦電流損とヒステリシス損との和である。材料自体の鉄損を減少するためハイグレードな低損失電磁鋼板を採用し、鉄心内の磁束の変化を少なくするために、その材料に合った磁束バランスの最適化を図った。

また、鉄心各部に応力が加わることで損失が増加するため、応力を緩和させることも重要である。例えば、フレームに圧入後のしめしろを見直すことでコア変形を小さくし、損失の増加を防いでいる。

鉄損を低減するには、固定子と回転子の溝数(スロットコンビ)やスロット寸法など多くのパラメータを考慮

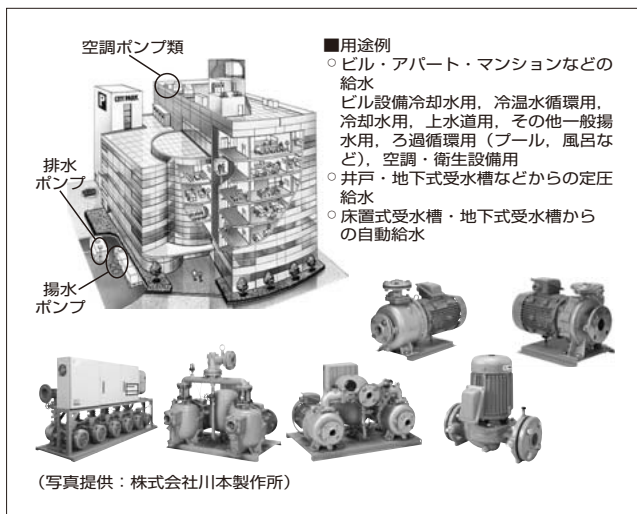


図2 モータの使用例

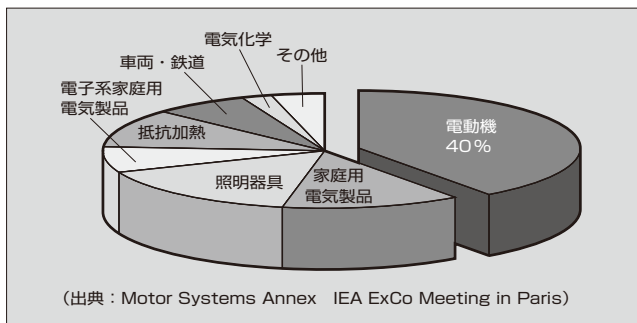


図3 全世界の電力消費の内訳

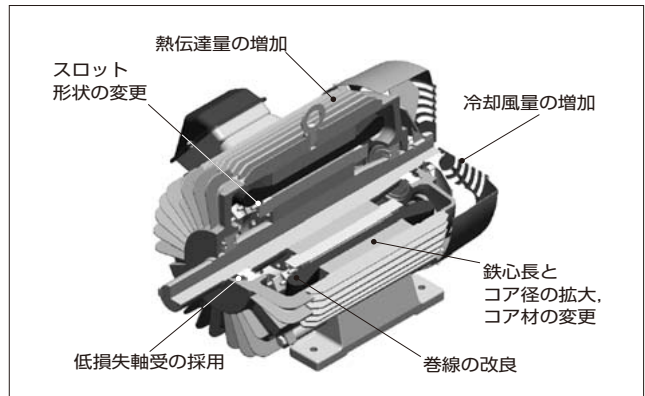


図4 モータの構造断面と損失低減策

する必要がある。また、銅損とのバランスや電気特性を考慮しながら鉄損を大きく低減することが重要となるため、既存の計算プログラムと磁界解析とを使い分けて最適化を図った。

(3) 冷却ファンによる機械損失の低減

モーターには外皮冷却用のファンがあり、その回転によって発生する風損は電動機の損失に含まれる。ファンによる冷却を必要最小限にするためには、設計段階でモーター温度を高精度に算出する必要がある。このため、熱流体回路網法を採用した熱設計を行い、冷却ファンによる損失の低減を図った。熱流体回路網法は、流体回路網計算で風速を算出したのち、熱回路網計算で各部の温度を算出する方法である。

(4) 損失の製品間のばらつきの低減

トッランナー基準では加重平均で効率規制値を満足させる必要があるため、製品個々の損失ばらつきを小さく抑えることも重要となる。製造時の加工精度や管理を厳しくすることで、ばらつきを抑えている。

発売開始時期

2013年6月1日

お問い合わせ先

富士電機株式会社
パワエレ機器事業本部ドライブ事業部
電話 (03) 5435-7059



(2013年10月7日 Web 公開)

ストライカ引外し式限流ヒューズ付高圧交流負荷開閉器 (LBS)

High-Voltage Air Load Break Switch (LBS)

菊地 征範* KIKUCHI Masanori

高圧交流負荷開閉器は、高圧受配電回路において負荷電流を開閉する装置のことである。中でもストライカ引外し式^(注1)限流ヒューズ付高圧交流負荷開閉器 (LBS) は、負荷電流の開閉から短絡電流の遮断に至る幅広い電流領域で開閉・保護性能を持っている。そのため、キュービクル式高圧受電設備の主遮断装置や変圧器の一次側の保護装置など、さまざまな用途で使用されている。特に、受電容量 300 kVA 以下の PF・S 形高圧受電設備に用いられる主遮断装置のほとんどに LBS が採用されている。

近年、太陽光発電設備の高圧側回路にも LBS が使用され、用途がさらに拡大している。また、配電盤の小型化により、LBS をはじめとした配電盤に収納される機器に小型化が求められている。

今回、富士電機ではこれらの需要に応え、小型で使いやすいさを向上させた LBS を開発した。

1 特徴

LBS の外観を図 1 に、仕様を表 1 に示す。特徴は次に示すとおりである。

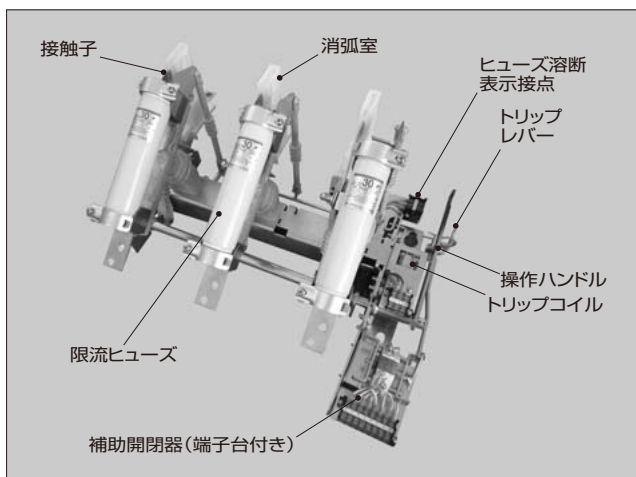


図 1 LBS

〈注 1〉 ストライカ引外し式：限流ヒューズは、溶断したときに溶断表示棒が飛び出す構造となっている。この飛び出す力を利用して負荷開閉器のリンク機構を動作させ、負荷開閉器を開極する方式をいう。

* 富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部開発部

表 1 LBS の仕様

項目	仕様	
形式	LBS-6 A/200 (F)	LBS-6 A/210 (F)
定格電圧	3.6/7.2kV (50/60Hz)	
定格耐電圧	60kV	
定格電流	200A	
定格投入遮断電流	12.5kA (1回)	
定格開閉容量	負荷電流 200A (200回) 励磁電流 10A (10回) 充電電流 10A (10回) コンデンサ電流 50A (200回, 6%リアクトル付き)	
過負荷遮断電流	1,100A (1回)	
操作方式	手動フック操作	
接点構造	通電接点、アーク接点一体形	
消弧方式	細隙、ガス冷却消弧	
適用ヒューズ形式	JC-6/5 ~ 75	JC-6/100
ヒューズ定格電流	G5 ~ G75 A	G100 A
準拠規格	JIS C 4611	

(1) 小型化

従来品に比べて奥行寸法を約 40mm 縮小し、容積で 10% 小型化した。

(2) 限流ヒューズ交換時の作業性・安全性の向上

従来品は、接触子部と限流ヒューズ部が一体で、開閉操作時は接触子の動作に合わせて限流ヒューズ部も動く構造のため、開極状態では限流ヒューズ取付部が容易に動き、不安定な状態で限流ヒューズの交換作業を行っていた。開発品は、接触子部と限流ヒューズ部を分離し、限流ヒューズ部は動かない構造とした。これにより、限流ヒューズを交換する時の作業性および安全性を向上させた。

(3) 取扱性の向上

(a) 限流ヒューズの溶断時に動作する接点出力は、従来品では動作時に一瞬しか出力しなかった。開発品では動作した後、限流ヒューズを交換するまで継続して出力するようにした。これにより、この出力を使用する配電盤の制御回路に設けていた自己保持回路を省略できるようにした。

(b) 相間バリアの取付けをねじ止めからワンタッチ構造に変更し、取付け時の作業性を向上させた。

(c) 補助回路の配線位置を LBS 本体の右側に集約するとともに、補助開閉器用の端子台を設け、配電盤側

の配線時の作業性を向上させた。

(4) 環境対応

RoHS 指令^(注2)に対応し、環境有害物質を含まないものにした。

2 背景となる技術

2.1 主回路可動部の構造見直し

小型でシンプルな構造を実現するため、主回路可動部の構造を抜本的に見直した。図2に接触子と可動部の構

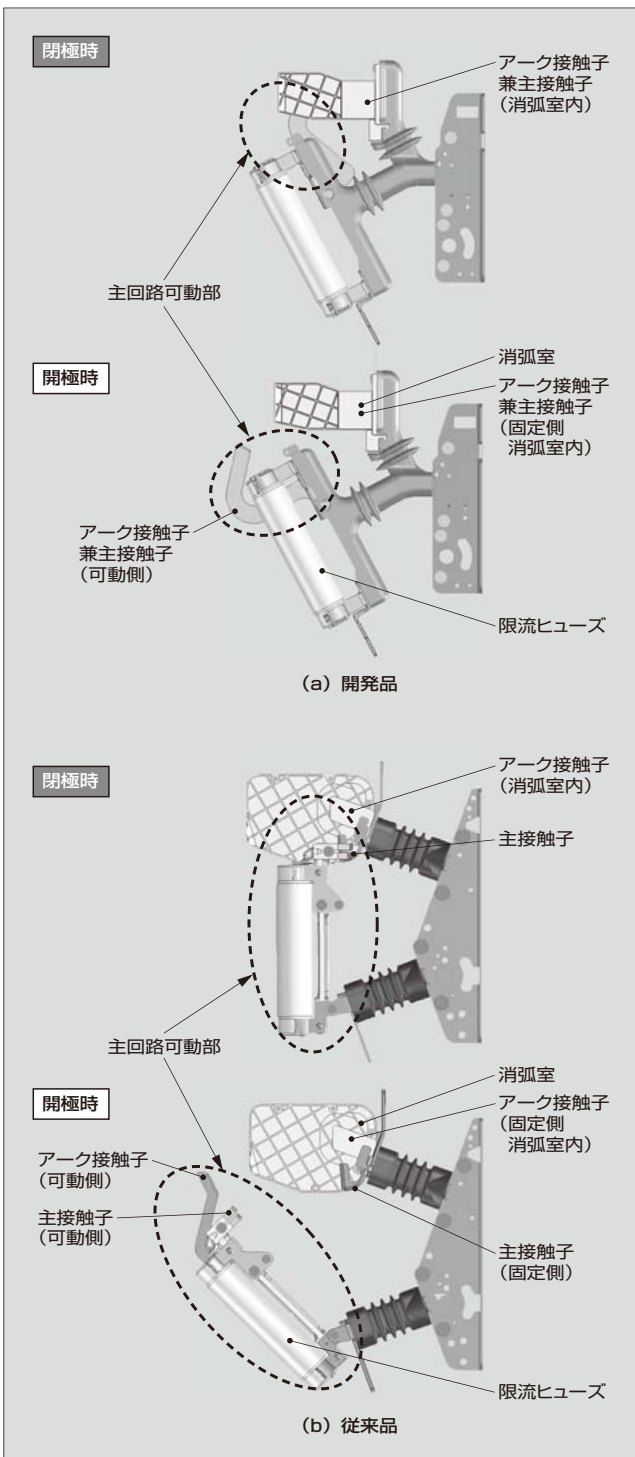


図2 接触子と可動部の構造

造を示す。

従来品では開閉操作により、アーク接触子、主接触子および限流ヒューズが一体で動くことから、奥行寸法の小型化の障害となっていた。そこで、開発品では可動接触子とアーク接触子とを一体化するとともに、限流ヒューズが動かない構造とし、可動部分の動作量を小さくし、奥行寸法の小型化を達成した。

2.2 接触子の一体化

従来品は、負荷電流が流れる主接触子と、電流遮断時に消弧室内でアークを消弧するアーク接触子とを並列に接続した構造となっている。これにより、アーク消弧と負荷電流の通電にそれぞれ役割を分担していた。

開発品では、製品を小型化するためにアーク接触子と主接触子を一体化する構造にした。この構造にするためには、消弧と負荷通電に関する要求性能を両立することが課題であり、消弧室の形状・通電温度・接点消耗・開閉耐久性などを細分化して考察し、最適な材料・形状・表面処理・接触圧力など、一体化するための要素技術を確認し、解決した。

2.3 消弧部の構造

消弧部の構造は、従来品と同様に、発生したアークを消弧室の細隙部で消弧する方式とした。

製品の小型化のためには、各機能部位の小型化が不可欠である。気中遮断においては、消弧室内でアークを消滅させる必要があるが、消弧室の容積を縮小すると、アークの消弧が不完全になり遮断不能につながる。したがって、消弧室の長さや接触子の乖離（かいり）速度の関係を最適化し、乖離後の極間絶縁距離を確保することなどが課題となる。

消弧部の構造を図3に示す。消弧室の内部には固定側接触子とアークガイドを設け、可動側接触子は曲線形状とし、アークは常にアークガイドと可動側接触子の先端

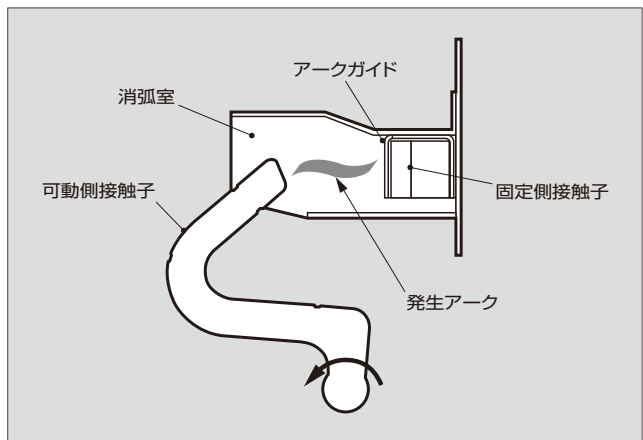


図3 消弧部の構造

〈注2〉 RoHS 指令：電気・電子機器における特定有害物質の使用制限についての EU（欧州連合）の指令

部との間で発生するようにした。アークが消弧するために必要な距離や可動側接触子の回転速度など、構造の各要素の相互影響を考察して消弧室の大きさを最適化した。その結果、開発品は安定した開閉遮断性能を維持したまま、従来品に比べて消弧室の容積を投影面積でほぼ半分までにまで縮小した。

図 4 に、この消弧部の構造での 200 A の負荷電流開閉

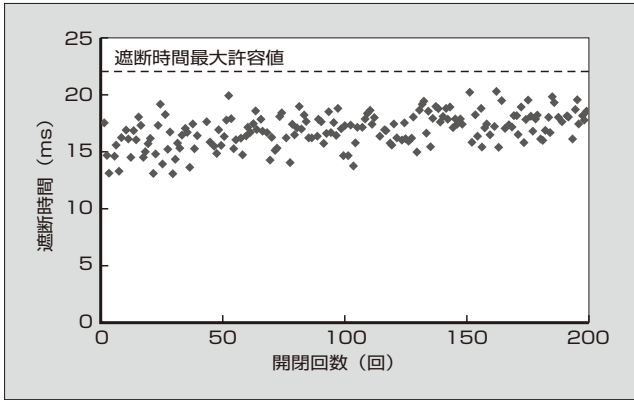


図 4 負荷電流開閉回数と遮断時間の関係

試験における負荷電流開閉回数と遮断時間の関係を示す。図の遮断時間最大許容値とは、消弧室内でこの時間までに遮断が完了していなければならない値である。開閉回数が 200 回に至るまで遮断時間は最大許容値以下であり、安定して遮断が完了していることが分かる。

発売開始時期

2013 年 10 月

お問い合わせ先

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



ディスクリート RB-IGBT 「FGW85N60RB」

Discrete RB-IGBT “FGW85N60RB”

原 幸仁* HARA Yukihito

富士電機の独自技術により量産化を実現した RB-IGBT (Reverse-Blocking Insulated Gate Bipolar Transistor : 逆阻止 IGBT) をディスクリートパッケージに搭載した「FGW85N60RB」を発売する (図 1)。

無停電電源装置 (UPS: Uninterruptible Power Supply) や太陽光発電用パワーコンディショナ (PCS: Power Conditioner) などでは、電力変換効率をいかに高めるかが課題である。中性点クランプを持つ AT-NPC (Advanced T-type Neutral-Point-Clamped) (図 2) がその手段の一つである。AT-NPC において、中性点クランプに RB-IGBT を使用すると電力変換効率をさらに高めることができる。

富士電機では、RB-IGBT を搭載した AT-NPC 用モジュールを製品化している。FGW85N60RB は、ディスクリート製品用に最適化した RB-IGBT を TO-247 パッケージに搭載した製品であり、ディスクリート構成でも高効

率な AT-NPC を実現できる。

1 特徴

- (1) 業界初の 600 V ディスクリート RB-IGBT
- (2) 業界標準の TO-247 パッケージ
- (3) 低インダクタンスパッケージ

ディスクリート製品は、モジュール製品よりパッケージ内部のインダクタンスが低いので、外付けゲート抵抗を高くしなくてもターンオフサージを抑制し、ターンオフ損失を低減できる。

- (4) 逆並列接続により双方向スイッチの形成が可能

逆方向スイッチは 2 個の RB-IGBT で形成できるので、IGBT 2 個とダイオード 2 個で構成した従来品よりも、導通損失を大幅に低減し (図 3)、発生損失を約 3% 低減した (図 4)。

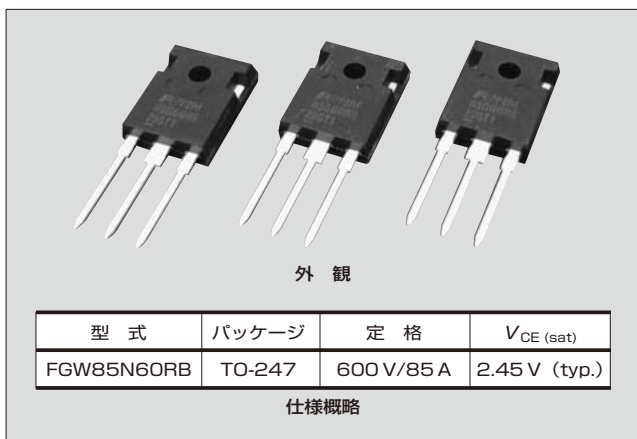


図 1 「FGW85N60RB」の外観と仕様概略

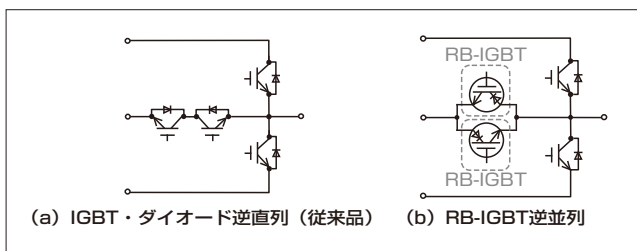


図 2 AT-NPC による電力変換回路

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部ディスクリート・IC 技術部

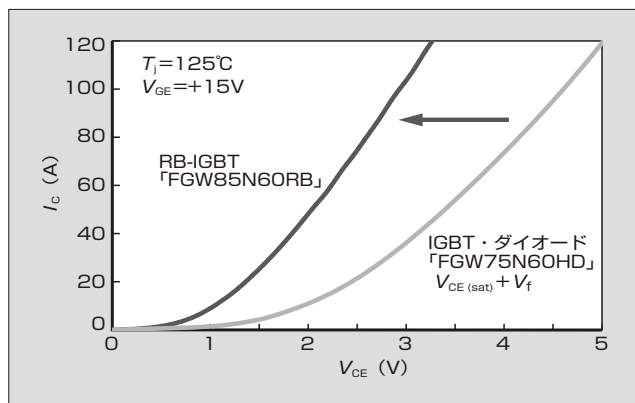


図 3 $V_{CE}-I_C$ 特性

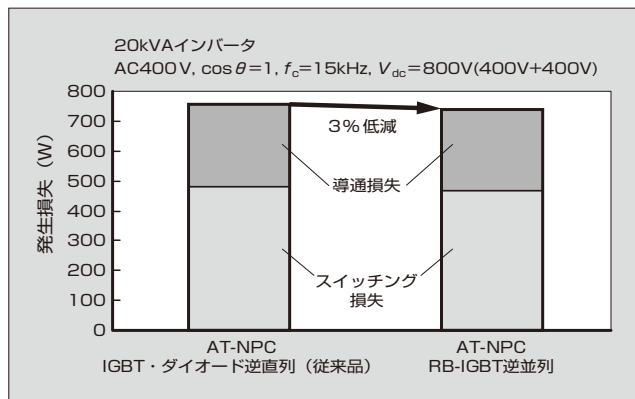


図 4 インバータ回路損失比較

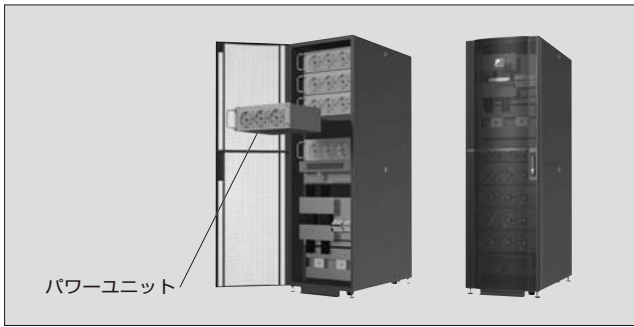


図5 UPS の例

2 適用事例

UPS への適用事例について述べる。図5に示すUPSは、パワーユニット(20kVA/台)を増設していく積上げ構造であり、容量を最大200kVAまで拡張できる。AT-NPCで構成するコンバータおよびインバータの中性点クランプにFGW85N60RBを採用し、導通損失を低減するとともに、UPSの効率を改善している。

3 背景となる技術

3.1 チップ技術

通常のIGBTではpn接合がダイシング面と接しているため、コレクタ-エミッタ間に逆バイアスを印加するとダイシングにより生じた高密度の結晶欠陥が起因となって大量のキャリアが発生し、電圧を保持することができない。したがって、通常のIGBTに逆電圧を印加するためには、逆電圧を保持するためのブロックダイオードが必要であった。RB-IGBTではスクライプ領域に深いp+分離層を高温で長時間の拡散工程により形成しており、逆バイアスを印加しても空乏層がダイシング面にまで拡大しないので逆耐圧特性を確保している(図6)。深いp+分離層を形成する工程では、高温で長時間の拡散を行うため、n⁻ドリフト層に多数の結晶欠陥が生じる。結晶欠陥が多くなると漏れ電流が大きくなるため、工程の見直しにより、結晶欠陥が発生しにくいp+分離層を形成する工程を確立した。これにより、安定した生産性を確保した。

一方、RB-IGBTはコレクタ-エミッタ間の逆電圧印加時の漏れ電流が、順電圧印加時の漏れ電流より大きい。逆漏れ電流の発生メカニズムは次のとおりである。

- (a) コレクタ-エミッタ間に逆電圧を印加する。
- (b) 裏面p層にホールが生成され、エミッタ領域に電子が流れる。
- (c) 電子がpnpトランジスタのベース電流となる。
- (d) 裏面p層でさらにホールが生成され、大きな逆漏れ電流となる。

ゲートに順電圧を印加することで逆漏れ電流を低減できる(図7)。ゲートに順電圧を印加すると、エミッタ領域に流れる電子はpnpトランジスタのベース電流とはな

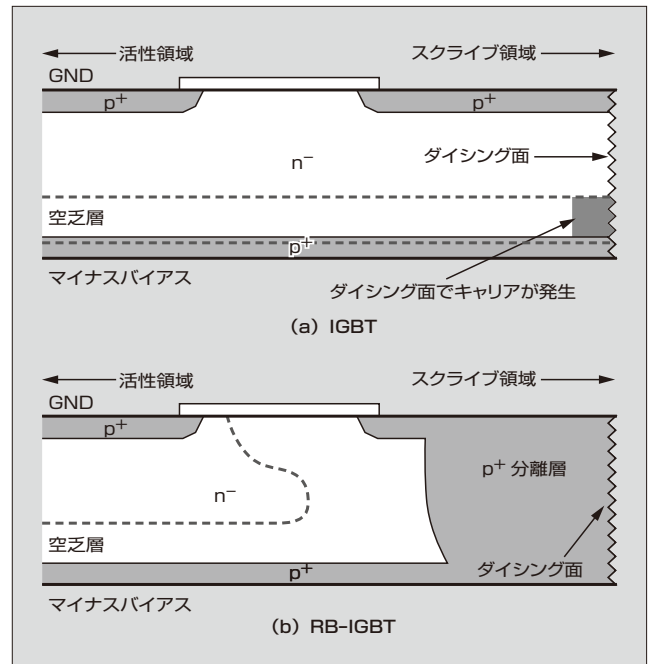


図6 RB-IGBT チップ断面構造

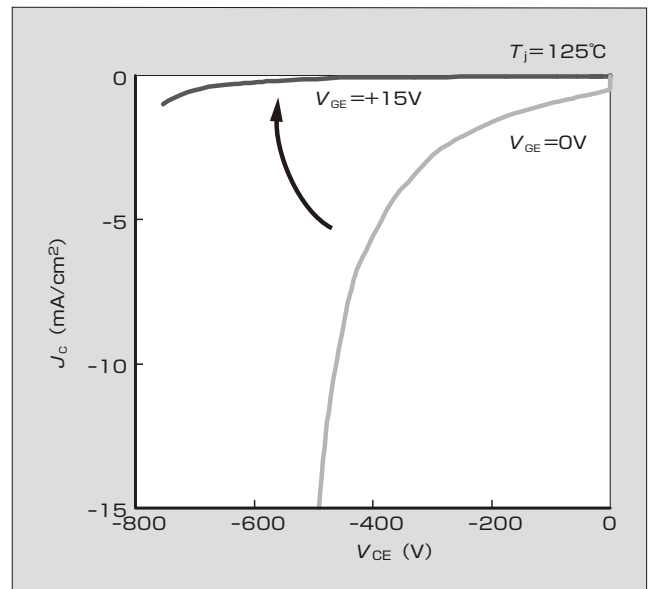


図7 RB-IGBT 逆漏れ電流

らず、チャネルへと流れるため、裏面p層からホールが生成されない。

また、ゲートにしきい値電圧以上の順電圧を印加することにより、従来のダイオードと同様の逆回復動作が可能である。

3.2 パッケージ技術

FGW85N60RBのパッケージには、ディスクリートIGBT「High-Speed Vシリーズ」と同様に、業界標準のTO-247パッケージを適用している。このため、従来のIGBTからの置き換えが容易である。

FGW85N60RBは、ディスクリートIGBT High-Speed Vシリーズと同様に、チップ下のダイはんだには鉛フリー

はんだを使用しており、RoHS 指令^{〈注〉}や EU 2002/95/EC 指令に完全に対応している。また、同時にヒートサイクルやパワーサイクルなどの熱応力が掛かる信頼性試験で、高い耐量があることを確認している。

〈注〉 RoHS 指令：電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についての EU（欧州連合）の指令

発売開始時期

2013 年 10 月 1 日

お問い合わせ先

富士電機株式会社電子デバイス事業本部
事業統括部ディスクリート・IC 技術部
電話（0263）28-8734

