

空調機用モータ・インバータの 高効率化技術

黒崎正己* 下麥卓也*
松岡 篤* 尾屋隼一郎*
島山和徳*

High Efficiency Technologies of Air Conditioner Motor and Inverter

Masami Kurosaki, Atsushi Matsuoka, Kazunori Hatakeyama, Takuya Shimomugi, Junichiro Oya

要 旨

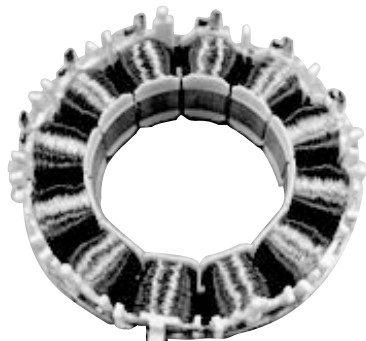
空調機は、家庭用から業務用まで至る所で使用されている。国内で消費される全電力量の約50%は空調機を含めた電動機の動力源として使用されるモータによるものと言われており、モータの駆動を効率的に行わせることは省エネルギーの面で効果が非常に大きい。三菱電機ではこれまでモータ及びモータ駆動の高効率化に取り組み、省エネルギー化に貢献してきた。今後も省エネルギー化をより一層推進していく必要がある。効率を向上させるための方法は、モータのロータやステータの極数、配向といった構造的なもの、使用する磁石や巻線といった材料的なもの、駆動させる回路の方式やインバータのスイッチング損失低減と

いった電氣的なもの等多岐にわたる。これらの方法を家庭用ルームエアコンや、ビルなど建屋のマルチエアコンなどの用途に応じて検討している。またモータ分野は他社も高効率化に力を入れているため、コストパフォーマンスに優れた技術も合わせて検討している。

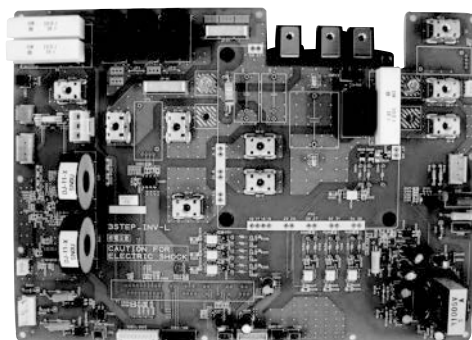
本稿では、空調機用モータ・インバータの高効率化技術の事例として、ルームエアコンの室内DCファンモータで採用したロータ多極化構造、及びビル用マルチエアコンの圧縮機駆動に用いた昇圧コンバータや待機電力削減のための圧縮機加熱技術の適用例について述べる。



ルームエアコン用ファンモータ



ファンモータ内のステータ



ビル用マルチエアコン圧縮機駆動回路基板

空調機用モータ・インバータの高効率化技術

当社の空調機は高効率化技術によって省エネルギー化に貢献している。写真左上はルームエアコン用ファンモータの1/4カットモデルである。写真左下はモータ内のステータであり、12スロット構成で、“ポキポキコア”を採用している。写真右はビル用マルチエアコンの圧縮機駆動に用いている基板である。

1. ま え が き

空調機は、主に家庭用に使用されるルームエアコン用途と、大規模な建屋などで使用されるビル用のエアコン用途とがある。どちらでも、省エネルギー化のため高効率化を追求すると同時に、インバータを搭載した機器から電源へ流出する高調波電流が規制に適合することや電磁加振力の集中による騒音発生を回避することが求められる。またこれらをコストパフォーマンスのよい方法で実現していく必要がある。

本稿では高効率化の適用例として、家庭用と業務用エアコンについてそれぞれ述べる。まず1つは家庭用ルームエアコンの室内DCファンモータの事例であり、従来の8極12スロット構造から今回新たに10極12スロット構造を採用し高効率化の実現と合わせて、配置や通電方法の工夫によって出力トルクの変動や振動、騒音を低減した事例である。もう1つは業務用のビル用マルチエアコンで今回新たに採用した昇圧コンバータによる通常運転時の省エネルギー化、及び高周波誘導加熱技術による運転停止時の省エネルギー化を行った事例である。

2. ルームエアコン高効率室内DCファンモータ

2.1 10極12スロットによる高効率化

ルームエアコンに搭載されるファンモータには、高効率なブラシレスDCモータを採用しており、当社では、更なる高効率化に取り組んでいる⁽¹⁾⁽²⁾。

図1に当社のルームエアコンに搭載している室内用DCファンモータの外観を示す。ファンモータは、熱硬化性樹脂でモールドされ、駆動回路を搭載するステータと、その内側に永久磁石を表面に配置するロータとで構成されている。

ファンモータは、低速回転、高トルクで使用されることが多いため、ステータのコイルに電流を流すことで発生する損失(銅損)の低減が高効率化のカギとなっている。このため、ファンモータのステータには、コイルの周長を短くできる集中巻きを採用することで、コイル抵抗の低減による高効率化を図っている。



図1. 室内用DCファンモータの外観

当社のルームエアコンに搭載しているファンモータでは、高効率化を実現するため、ステータの多スロット化、ロータの多極化を行っている。多スロット化でステータのコイルを分散することによってコイル周長が短くなり、さらに高密度に実装できるポキポキコアと組み合わせることで、コイル抵抗を低減して、高効率化を図っている。

更なる高効率化のために、ロータの磁極数とステータのスロット数の組合せとして、巻線係数の高い10極12スロットを採用した。これによって、ロータの永久磁石の磁力をより有効に利用できるため、従来の8極12スロットの組合せに対して、より少ない電流で同等トルクの出力が可能となり、銅損の更なる低減を実現している。

2.2 ロータの高性能化

ファンモータでは、高効率であると同時に低騒音であることも要求されるため、出力トルクの変動や、モータ本体からの振動・騒音を少なくできる磁石表面配置型のロータ構造を採用している。

銅損を低減するためには、より少ない電流で必要なトルクを発生させる必要があるため、ロータには磁力の強い希土類マグネットを採用している。

当社では、これまでに軟磁性鉄粉と樹脂を混練した材料をバックヨークに用いて、希土類のプラスチックマグネットと一体成形した“樹脂鉄心ロータ”⁽³⁾による高磁力化を図ってきた。これは、磁極の中央の肉厚を極間よりも厚くする偏肉形状と、マグネットの磁力を磁極中心に集中させる極配向によってロータを高性能化した技術であるが、従来の8極ロータを、新たに10極へ変更する際に、マグネットの配向技術と樹脂成形技術を応用して、樹脂鉄心バックヨークの代わりに極配向のフェライトプラスチックマグネットを配置して、その外周に希土類のプラスチックマグネットを一体成形するハイブリッド構成のロータを開発した(図2)。これによって、希土類マグネットの磁力にフェ

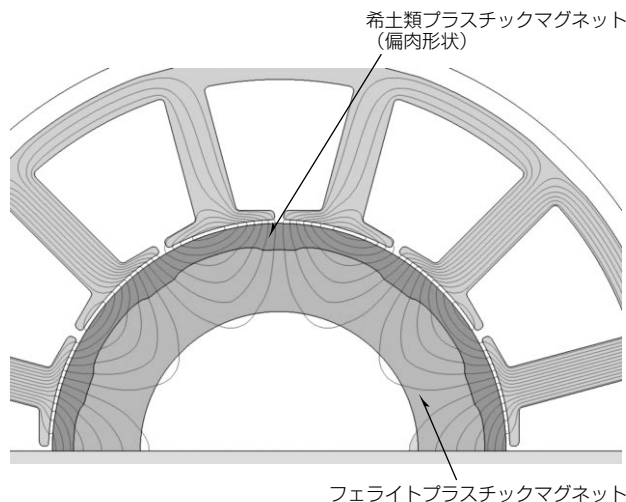


図2. 極配向マグネットロータ(磁束線図)

ライトマグネットの磁力を加えることで、より高磁力のロータを実現することができた。

10極12スロットの構成と、希土類マグネットとフェライトマグネットを組み合わせた新構造ロータによって、室内用ファンモータの開発品は、内蔵する駆動回路も含めて88%の高い効率を実現している。

2.3 正弦波通電による低騒音化

図3に示すように、8極12スロットの従来モータではステータにかかる電磁加振力が4方向に分散されていたため通電方式で騒音面に不利な矩形(くけい)波通電を採用することができていたが、10極12スロットでは電磁加振力が2方向に集中し騒音が増大する課題があった。そこで新型モータでは、通電方式として電流の時間変化のなだらかな正弦波通電を採用し磁束の急激な変化を抑制することで、騒音のオーバーオール(音圧の全周波数帯域の合計値)及びピークを低減することができた(図4)。

3. ビル用マルチエアコン用圧縮機駆動技術

昨今の節電需要の高まりをうけ、ビル設備では消費電力量の約5割を占める空調機の省エネルギー化が求められている。当社ビル用マルチエアコンでは、新たに図5に示す圧縮機駆動回路として昇圧コンバータを搭載し、昇圧コンバータに適した圧縮機用モータの開発によって低負荷領域

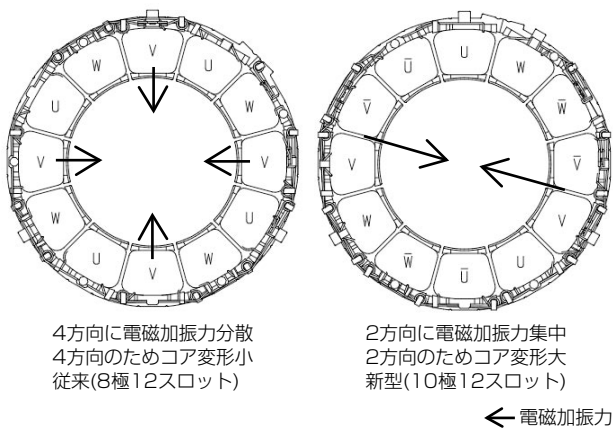


図3. 極数による電磁加振力変化

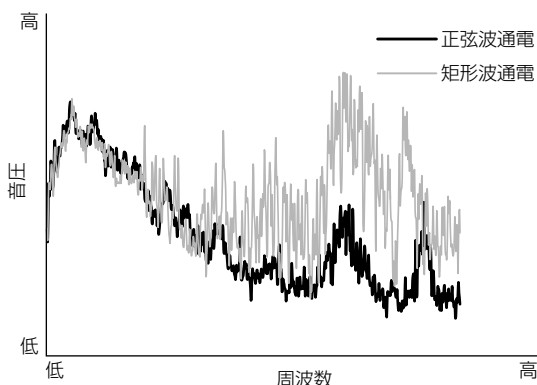


図4. 通電方式による騒音の比較(新型モータ)

の損失低減を実現した。また既存の圧縮機駆動用のインバータを用い開発した高周波誘導加熱技術によって、運転停止時の圧縮機加熱電力低減を行い、待機電力を削減した。

3.1 昇圧コンバータ技術

空調機の省エネルギー評価基準として、通年エネルギー消費効率(APF)が用いられる。APFは、ユーザーの使用環境を条件化した指標の1つであり、年間を通して使用される空調機で、最も発生頻度の多い低負荷領域での効率の寄与度が高くなっている。そのため、APFの改善には低負荷領域での損失低減が必要である。

図5の圧縮機駆動回路のインバータ部では、インバータを構成するスイッチング素子がONの時に導通損失が発生する。この損失を減らす方策の1つとして、インバータ電流の低減がある。低負荷領域でのインバータ電流の低減には、圧縮機内のモータの巻線数を増加させることが有効である。しかし、モータの巻線数を増加すると、高負荷領域でインバータの出力電圧不足が生じるため、高負荷領域でインバータ電流が増加し導通損失が増加させるだけでなく、高負荷領域でモータの回転範囲が縮小する課題があった。

インバータの出力電圧は、インバータに供給される電圧によって上限が制約されるため、出力電圧不足を解消するためにはインバータに供給する電圧を増加させる必要がある。そこで、インバータに供給する電圧増加が可能な昇圧コンバータをモータの巻線数増加と併せて採用し、高負荷領域の回転範囲を縮小することなく、低負荷領域での電流低減によってインバータの導通損失の低減を可能とした(図6)。これによって、昇圧コンバータを持たない従来の回路方式に対し、低負荷領域で効率が約2~7%改善し、当社ビル用マルチエアコンのAPF向上に寄与している。

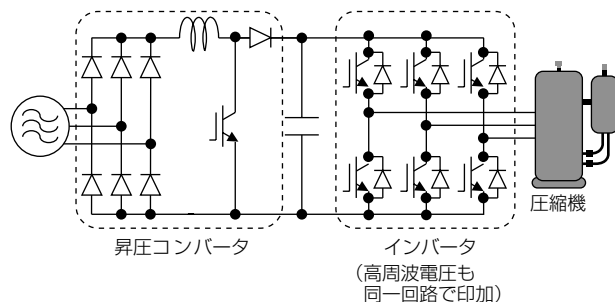


図5. ビル用マルチエアコン向け新圧縮機駆動回路

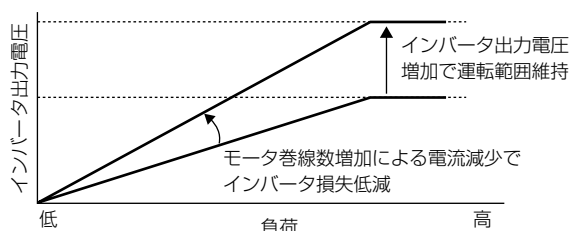


図6. 低負荷領域の電流低減による効率改善

さらに昇圧コンバータは、高調波発生量の抑制にも寄与している。エアコンを始めインバータを搭載した電気機器は、電源へ流出する高調波電流が規制されている。ビル用マルチエアコンに関する規制では、第5次高調波が最も厳しく、各機器での高調波対策に加え、別売の高調波対策機器を必要とする。

今回採用した昇圧コンバータは先に述べた電圧増加に加え、電流制御を行うことで第5次高調波の少ない電流波形に制御している。これによって従来の回路方式に比べ、第5次高調波を最大17%低減し、高調波対策機器の必要台数削減を可能とした。

3.2 圧縮機の高周波誘導加熱技術

ビル用マルチエアコンは、一般家庭向けのルームエアコンに比べて冷媒の量が多く、運転停止時に外気温度が低下すると冷媒が圧縮機底部に液状態で溜(た)まる冷媒寝込み状態が発生する。液状態の冷媒は圧縮機内部の潤滑油に溶け込み、この状態のまま圧縮機を動作させると、冷媒とともに潤滑油が圧縮機外へ排出されてしまい、潤滑油不足による圧縮機の破損を招くおそれがある。

従来は、圧縮機の外部にクランクケースヒーターを取り付けて運転停止時に加熱することで冷媒寝込み状態を防止していた。しかし、圧縮機の外部から加熱を行うため冷媒への熱伝達率が低く、大電力のヒーターが必要となるため待機電力が増加してしまう課題があった。

そこで、図5に示す圧縮機を駆動する既存のインバータを用いて、運転停止時に通常運転時の数十倍の高周波電圧を圧縮機内のモータに印加する高周波誘導加熱技術を開発した。誘導加熱によって圧縮機内部のモータである図7の加熱部位が発熱源となるため、液化した冷媒を圧縮機内部から直接加熱することが可能となる。そのため、クランクケースヒーターに比べて冷媒への熱伝達率が向上し、より少ない電力で効率よく加熱することが可能となる。さらに圧縮機内のモータが回転動作として追従できないほどの高周波電圧をインバータから出力するため、圧縮機が動作することなく静音性を保った加熱が可能となる。また、高周波誘導加熱によって通常運転時の数十分の一の電流で圧縮機を加熱することが可能となるため、インバータによる損失を必要最小限に抑制することが可能となる。

この高周波誘導加熱技術によって、クランクケースヒーターが不要となるだけでなく、従来のヒーター加熱に比べ、

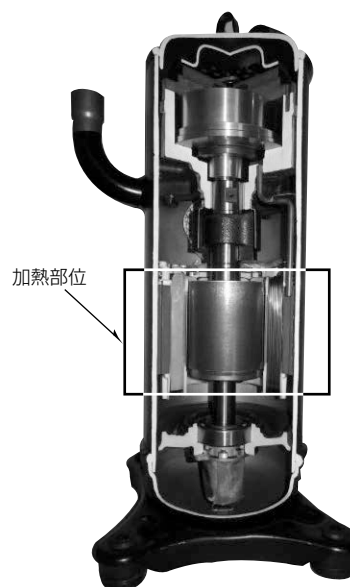


図7. 誘導加熱による圧縮機の加熱部位

運転停止時の圧縮機の冷媒寝込みの防止に必要な電力量を最大約50%削減することが可能となり、当社ビル用マルチエアコンの省エネルギー化に寄与している。

4. む す び

今回、ルームエアコン用室内ファンモータで新たに採用した10極12スロットモータ構造とハイブリッド構成の新ロータによる高効率化とその低騒音化対策、及びビル用マルチエアコンで新たに採用した昇圧コンバータ技術と高周波誘導加熱技術による圧縮機の運転・停止時双方での高効率化、という家庭用と業務用2通りの空調機効率化の取組みについて述べた。今後も省エネルギー化の要求はより一層高まっていくものと思われる。当社もその要求に対応して高効率な製品の開発に取り組んでいく所存である。

参 考 文 献

- (1) 川口 仁, ほか: 住環境機器用高効率モータ, 三菱電機技報, 76, No.6, 382~386 (2002)
- (2) 馬場和彦, ほか: ルームエアコン用ブラシレスDCモータの高性能化, 三菱電機技報, 79, No.11, 727~730 (2005)
- (3) 電気学会, 永久磁石の高性能化研究と応用調査専門委員会: 永久磁石の高性能化研究の最新動向, 電気学会技術報告, No.1257 (2012)