

業務用空調向け回路一体型 IPMモータの開発

Development of Commercial Air-Conditioner Motor with Integral Circuit

河村 清美* 横内 保行*
Kiyomi Kawamura Yasuyuki Yokouchi

小型・高効率化が求められる業務用空調ファンモータにおいて、埋込磁石型同期モータ（以下、IPM（Interior Permanent Magnet Motor）と記す）の適用が検討されているが、IPM特有のトルクリップルに起因する騒音の課題があった。そこで、トルクリップルをロータ形状の最適化により低減することで、小型・高効率・低騒音のIPMを開発し、業界で初めて量産化を実現した。

We have been analyzing our efforts in applying the Interior Permanent Magnet Motor (IPM) motor in the commercial air-conditioning industry. As our first goal, we had to meet two optimization requirements: reduction in the motor size and higher performance efficiencies. An additional requirement was to reduce the motor's noise performance which is characterized by its torque ripple. We have achieved these targets by developing a more compact motor with reduced size and increased performance and efficiencies. Also, we have reduced motor noise by optimizing the shape of the rotor to reduce torque ripple characteristics. With the contribution of our success, we have been able to achieve mass production of IPM motors in the commercial industry for the first time.

1. IPM開発の背景

近年、地球温暖化の影響を受けた省エネ規制が進んでいるため、工場やオフィスなどで使用される業務用空調モータの高効率化および省資源設計としての小型化のニーズが高まっている。

上記ニーズに伴い、業務用空調機器に使用されているファンモータは、インダクションモータから効率が高い表面磁石型同期モータ（以下、SPM（Surface Permanent Magnet Motor）と記す）へと置き換わってきている。今回、筆者らは、大幅な高効率化と小型化を実現するために、希土類磁石を用いたIPMを新たに開発したのでここに報告する。

2. IPMの特徴と課題

IPMは、磁石の吸引・反発によるマグネットトルクと、ロータコアの突極性を利用するリラクタンストルクを併用してトルクを発生させるモータであり、マグネットトルクのみを使用するSPMに比べて大幅な高出力・高効率化が図れるといった特長を有する。しかしながら、IPMはエアギャップ中の磁束密度分布に空間高調波を多く含むといった問題点が存在する。

空間高調波は、径方向の電磁加振力を増加させて振動の要因となるだけでなく、誘起電圧が歪む（ひずむ）ことによるトルクリップルの増加となり、結果として回転方向の振動の要因にもなる。

ここで、ギャップ磁束密度分布の歪（ひずみ）を抑制すれば振動は完全に収まるわけではなく、IPMは電流印加時において、磁石外側のロータコアが磁束通路となるためステータからの磁束が偏る。その結果、ギャップ磁束密度の変化が大きくなり特有のトルクリップル悪化を引き起こす。そのため、従来のロータ設計方針では低騒音化を実現することができず、空調用ファンモータとして、IPMの採用は困難であった。

3. 低騒音ロータ設計および駆動制御方式

今回、IPMの特徴である小型・高効率を維持したまま、低騒音化を実現することを目的として開発に取り組んだ。

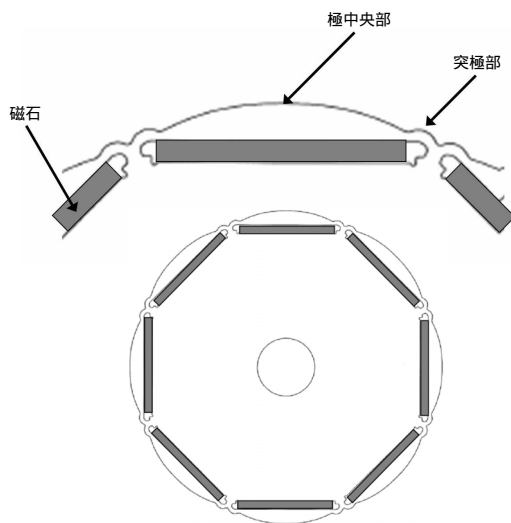
IPMにおいて、磁束量を低下することなく、ギャップ磁束密度分布の高調波の抑制、およびトルクリップルの低減を両立する技術開発を行った。併せて、駆動制御方式にも着目し、全回転数域での低騒音化を図った。

3.1 ギャップ磁束密度分布の正弦波化

ギャップ磁束密度分布を正弦波にするためには、ロータの磁石中心を基準として、磁極間部のエアギャップが大きくなるようにロータ外周形状を構成するが、磁極間部のエアギャップが非常に大きくなってしまふ。そのため、ステータとのエアギャップよりも隣り合う磁極との距離の方が小さくなるため、磁束が径方向に流れずに磁極間で短絡してしまい、結果として磁極間においてギャップ磁束密度分布の歪が生じるといった問題があった。

今回、磁石両端の極間部に突極部を設け、局所的にエアギャップを小さくすることで、従来課題であった磁極間におけるギャップ磁束密度分布の歪を低減した（**第1図**）。併せて、磁石中央部から突極部間での曲率を自由に設計できるため、任意の位置での形状を変化させること

* モータ社 家電電装モータビジネスユニット
Home Appliance and Automotive Motor Business Unit, Motor Company



第1図 ロータ形状図
Fig. 1 Shape of rotor

で、ギャップ磁束分布の歪の低減を図った。

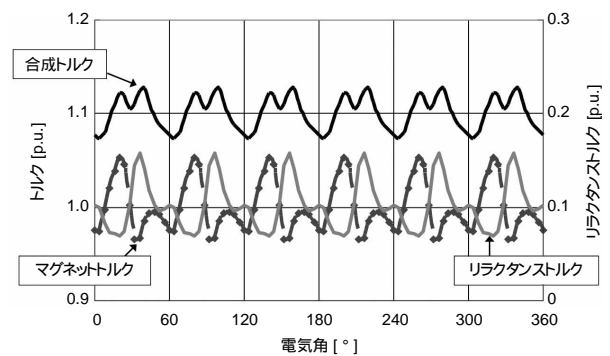
また、突極部を設けることで、磁石挿入孔の幅を大きくしたり外周方向に配置することができるため、磁束量が増加し、更なる高トルク化が実現できる一方、トルクを増加させずに小型化や低騒音化をさらに追求する設計も可能となった。

3.2 トルクリップル低減

IPMのトルクは、マグネットトルクとリラクタンストルクを合成したものであり、トルクリップルの低減のためには、この合成したトルクの脈動を抑制する必要がある。

本開発モータにおいては、マグネットトルクとリラクタンストルクのそれぞれのリップル成分の位相がほぼ反転していることに着目し、波形と振幅をできるだけ同じになるように設計を行った。そして、磁束の流れを可視化してトルクの振幅を抑制できるようにロータ形状を決定することで、合成されたトルクリップルの低減を図ることができた(第2図)。

これに加えて、3.1節に示したような突極部を設けることで従来では構成できなかったロータ外周形状や磁石挿入位置の組み合わせが増加し、大幅なトルクリップルの低減が図れた。



第2図 トルク波形
Fig. 2 Torque waveform

3.3 正弦波駆動制御方式

トルクリップルを低減し、低振動、低騒音を実現させるためには、モータの誘起電圧波形に合わせてモータ電流波形も正弦波とする正弦波駆動を行う必要がある。一般的に正弦波駆動を行うブラシレスモータでは、矩形波のコミュレーションセンサ信号(CS信号)を用いるため起動時のロータの絶対値を検出できず、起動時は矩形波駆動を行っている。

そこで、本開発モータではCS信号をアナログ値としてマイコンに取り込むことにより、ロータの絶対位置を常に検出する方式を採用した。これにより、起動時を含め、常時正弦波駆動が可能となり、低振動、低騒音でのモータ駆動を可能とした。

4. モータ特性

4.1 モータ単体特性

開発したIPMの特性を、SPMおよび従来のIPMと比較し、第1表に示す。ここで、高効率化と小型化はトレードオフの関係にあるため、効率をすべて同等としたときの比較としている。また、SPMを100としての表記としている。ギャップ磁束密度分布に関しては、正確な測定はできないため、誘起電圧の歪率での表記とした。

開発品は、SPMに対して約40%の小型化が図れた。かつ、従来のIPMで課題であった誘起電圧歪率およびトルクリップルは約半減することができ、SPMに対しても誘起

第1表 モータ特性比較

Table 1 Comparison of motor characteristics

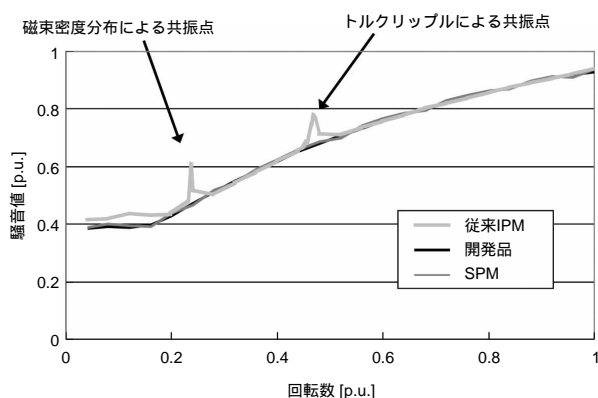
	SPM	従来IPM	開発品
モータサイズ	100	58	58
誘起電圧歪率 [%]	3.2	4.4	2.2
トルクリップル	100	170	92

電圧歪率は約1%の低減，トルクリップルは約8%の低減が図れた。この結果から，SPMに対して小型化および低騒音化が図れていることがわかる。

4.2 実機騒音特性

実際に空調ファンシステムに組み込んだときの騒音特性の結果を，第3図に示す。

従来のIPMは，トルクリップルに起因する共振点と，それより低速域のギャップ磁束密度分布の歪による共振点の発生が課題であった。開発品は，騒音要因であるトルクリップルおよびギャップ磁束密度分布の歪を低減することにより，SPMと同等の共振点が発生しない良好な結果が得られた。



第3図 実機騒音測定結果

Fig. 3 Result of noise measurement

5. 今後の展望

IPMの高効率化，低騒音化技術を更に進化させることにより，空調ファンモータはもとより，洗濯機やコンプレッサ，電装用など，高効率・低騒音化が求められている他の用途への展開を図ることで，セット機器および地球環境への貢献をしていく。