

低始動電流トップランナーモータの開発

富澤和紘 Kazuhiro Tomizawa
 長澤 清 Kiyoshi Nagasawa
 林 康生 Yasuo Hayashi
 松本忠弘 Tadahiro Matsumoto

キーワード トップランナー, 低始動電流

概要



低始動電流トップランナーモータ

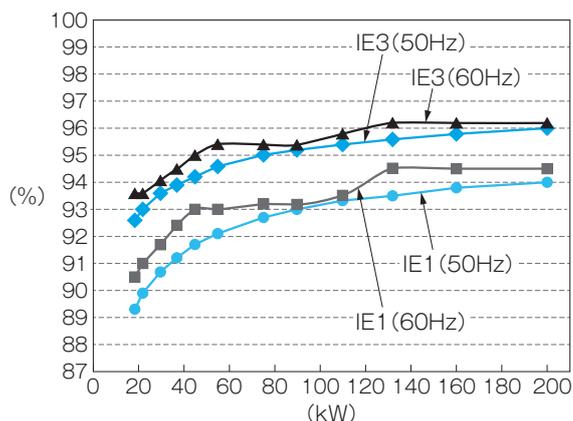
2015年4月に三相誘導電動機のトップランナー制度が開始された。これにより、対象となる0.75kW以上375kW以下の低圧三相誘導電動機（以下、トップランナーモータ）は、エネルギー消費効率クラスをIE1からIE3へ上げることが必要となった。トップランナーモータは、効率を上げるために始動電流が大きくなる傾向があり、低始動電流仕様を要求されているお客様に影響がある。

このような状況を踏まえ、当社ではお客様の要求に応えるため、低始動電流トップランナーモータを開発した。

1 まえがき

国内のモータ普及台数は約1億台と言われている。そのうちの97%が効率クラスIE1（以下、IE1）のモータで、全ての三相誘導電動機を効率クラスIE3（以下、IE3）とした場合、我が国の消費電力全体の約1.5%（155億kWh/年間）を削減できると試算されている⁽¹⁾。第1図に4極機について各出力のIE1とIE3の効率を示す。

このような中、2011年に交流電動機がトップランナー制度の対象機器となり、2015年4月に三相誘導電動機のトップランナー制度が開始された。これにより、対象となる三相誘導電動機は効率クラスをIE3とする必要が生じた。効率クラスが上がることでお客様は省エネルギーを見込める一方、効率を上げることで始動電流が大きくなる傾向にあるため、低始動電流仕様を要求するお客様は対策を講じる必



第1図 IE1とIE3の効率

IE1とIE3の効率を示す。効率は、JIS C 4213-2014, JIS C 4034-30-2011 既定の値である。

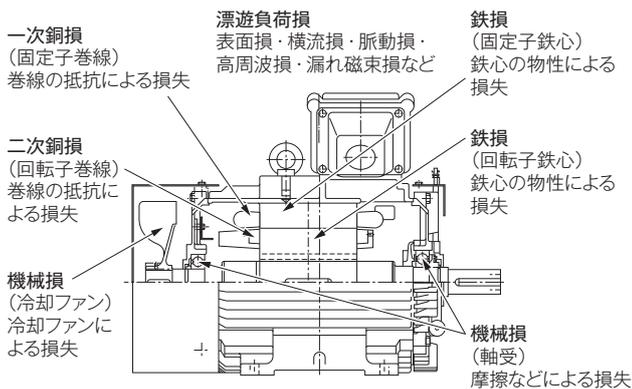
要がある。このような状況を踏まえ、当社は低始動電流のトップランナーモータを開発した。本稿では、トップランナーモータの低始動電流化技術について紹介する。

2 IE3化による特性の変化

モータでは電気的入力を変換する際、一部が損失として消費される。モータの効率は入力から損失を差し引いた値（=出力）を入力で除したものであるため、効率クラスをIE1からIE3とするには、相当する分の損失を減らせば良い。第2図にモータの損失を、第1表に低減策を示す。

効率クラスをIE3とすることで、IE1モータに対して以下の特性の変化が生じる。

- (1) モータサイズは、IE1の全閉形モータに比べ全長が長くなる傾向にある。開放形モータと比較すると枠番が大きくなる。
- (2) モータの始動電流が大きくなる。



第2図 モータの損失

モータの損失の種類を示す。

第1表 モータ損失低減策

モータの損失の低減策を示す。

損失	低減策
一次銅損	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導体断面積の増加 ・ 巻線占積率の向上 ・ 巻線端（コイルエンド）長さの短縮
二次銅損	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導体断面積の増加
鉄損	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低損失電磁鋼板の採用 ・ 薄い電磁鋼板の採用 ・ 磁束密度の最適化
機械損	<ul style="list-style-type: none"> ・ 冷却ファンの小径化 ・ 低損失グリースの採用
漂遊負荷損	<ul style="list-style-type: none"> ・ ギャップ長の最適化 ・ 回転子スロット数の最適化 ・ 回転子スキューの最適化 ・ 回転子スロット絶縁処理 ・ 鉄心の焼きなまし

- (3) モータの定格回転速度が高くなる。
- (4) モータ発生トルクが大きくなる。

始動電流値は、IE1では定格電流の6～8倍であったが、IE3では7～10倍となる。これは損失を低減するために、モータのインピーダンス（抵抗分とインダクタンス分で構成され、抵抗分が損失に関係する）を小さくすることになり、始動電流が大きくなるからである。

一方、始動電流を小さくする場合には、モータのインピーダンスは大きくなりモータの損失が増加する。低始動電流とするには、この増加する分を含めた損失を低減する必要がある。標準のトップランナーモータと比較して枠番がより大きくなる。

3 始動電流低減のための技術

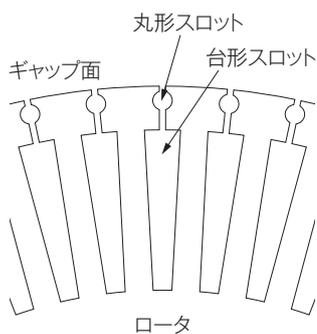
始動電流を低減するために以下の手法が挙げられる。

- (1) 表皮効果（始動時は二次周波数が高く電流分布がスロット上部に集中する現象）を利用して始動時の二次抵抗値を大きくするために、二重かご形構造ではギャップ側のスロット断面積を小さくする。
- (2) 全電圧始動時（定格電圧の電源を端子に直接加えて始動する方法）の回転子鉄心のギャップ近傍における磁気飽和の影響を小さくするため、半閉スロットを採用する。
- (3) コイルターン数を増やしてモータインピーダンスを大きくする。

しかし、(1)によって二次銅損、(2)によってギャップ間磁束の高調波成分が増えることで漂遊負荷損（高調波磁束により引き起こされる渦電流損）が増える。また、(3)によって一次銅損と二次銅損が大きくなる。これらのことから、トップランナーモータでは始動電流を抑えた設計が困難である。

以下に高効率を保ちながら始動電流を低減するための手法として、回転子に二重かご形構造を有するモータを紹介する。

回転子部分は、前述の(1)、(2)の手法を施した第3図に示すようなスロット形状とする。ギャップ面に近い丸形スロット部の断面積を小さくするこ



第3図 低始動電流モータのギャップ形状

ロータ部のスロット形状を示す。

とで始動電流を低減する。この際、始動時の表皮効果を上げるために丸形スロット部と台形スロット部との間隔を考慮して決める。また、ギャップ面から遠い台形スロット部の断面積を増やすことで運転時の二次銅損を低減する。丸形スロット・台形スロットの寸法とそれらをつなぐスリット溝の長さや幅は、数値解析によって最適化を図っている。

(3)については導体断面積を大きく（鉄心体格を大きく）して抵抗値を小さくすることで、銅損の増加分を相殺する。固定子部分は、第1表の対策を施す。

さらに損失を低減する手法として、回転子スロット絶縁の適用や回転子外周表面の加工レス化があり、概要は以下のとおりである。

(1) 回転子スロット絶縁 回転子鉄心スロット内面を耐熱塗料で絶縁することでロータバー間を短絡する電流を抑え、漂遊負荷損の一つである横流損を減らすことができる。アルミダイカスト時に700℃近い溶融したアルミにさらされるため、それに耐えられる耐熱塗料が必要となる。耐熱性に優れた無機質塗料を浸漬処理する。

(2) 回転子外周表面の加工レス化 アルミダイカスト後に回転子外周面を加工することで表層部が短絡し、主にエアギャップ部の高調波磁束によって生じる渦電流損からなる表面損が発生する。回転子外周面を加工レスとすることで、漂遊負荷損の一つである表面損を減らすことができる。加工レス化するためには専用の鉄心プレス型を、またアルミダイカスト及びシャフト圧入（あるいは焼ばめ）工程で回

第2表 検証機の特性

低始動電流トップラナーモータの効率と始動電流値を示す。

40kW-6P 440V-60Hz 試作結果	
枠番	225SX
定格電流	62.9A
始動電流	464%
効率	94.4%

転子外径の非加工で寸法精度が出せる生産技術力が必要である。

4 低始動電流トップラナーモータの試作評価

当社は、2項と3項で示した手法を用いて、40kW-6PのIE3効率低始動電流モータを製作して検証した。試作機設計にあたっては、モータ始動時の突入電流は始動力率が高いほど軽減できる傾向にあるため、この点を考慮してスロット形状を決めている。

第2表に検証機の特性を示す。効率は、トップラナーモータのエネルギー消費効率：94.5%と同程度を達成した。始動電流は、半閉スロットとすることで全閉スロットと比較して磁気飽和の影響が1/3程度となり、定格電流の約5倍に抑えられた。始動力率は、当社の同容量機に対して20%ほど高くなり、始動時の突入電流を約10%低減できた。

このように低始動電流トップラナーモータの技術を確立することができたが、モータ全長は標準のトップラナーモータより長くなる。

5 むすび

トップラナーモータの低始動電流化技術を開発した。本技術を応用して、トップラナー制度対象以外のモータも高効率化が見込める。今後は、トップラナーモータに限らず、用途に応じた高効率モータを開発し、お客様の要求に応じていく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

(1) 資源エネルギー庁（2009年エネルギー消費機器実態等調査報告書）、IAE-091907、JEMA 三相誘導電動機のトップランナー基準（案）の紹介

《執筆者紹介》



富澤和紘
Kazuhiro Tomizawa

電動力応用営業部
モータのエンジニアリング業務に従事



長澤 清
Kiyoshi Nagasawa

回転機技術部
モータに関する研究開発に従事



林 康生
Yasuo Hayashi

(株)甲府明電舎
モータに関する設計業務に従事



松本忠弘
Tadahiro Matsumoto

回転機技術部
モータに関する研究開発に従事