

インバータ駆動による三相インダクションモーターと ブラシレスモーターの効率比較

芳賀 秀夫

Efficiency comparison of the brushless motor and the three-phase induction motor by inverter drive

Hideo HAGA

High efficiency is requested for motors that are the driving source of equipment as well as energy saving of the device for the global environmental protection and effective energy usage. The same thing is required also for the adjustable-speed drive. So, it is indispensable to select the best motor drive system corresponding to the load for achieving the energy savings.

This article describes the system configuration, the features, and the efficiency comparison of the three-phase induction motor by the inverter drive used for the adjustable-speed drive, and the brushless motor unit.

1. はじめに

地球環境保全、エネルギーの有効利用のために装置の省エネルギー化が望まれており、装置の駆動源であるモーターには高効率化が求められています。可変速駆動においても同様です。省エネルギーを達成するには、負荷に応じた最適なモーター駆動システムを選定することが不可欠です。

ここでは可変速駆動に使用されるインバータと三相インダクションモーター（図1）、そしてブラシレスモーターユニット（図2）のシステム構成、特徴および効率比較について述べます。



図1 インバータ FE200A と三相インダクションモーター FH シリーズ



図2 ブラシレスモーターユニット BLE シリーズ

2. インバータ駆動による三相インダクションモーターのシステム構成および特徴

三相インダクションモーターの可変速制御をするためには専用の駆動回路（インバータ）が必要となります。ここでは三相インダクションモーターと、インバータ FE200A を組み合わせた場合のシステム構成および特徴について説明します。

2.1. システム構成

三相インダクションモーターをインバータで駆動する場合のシステム構成を図3に示します。なおインバータという用語は、駆動回路全体、または交流電圧を作る内部回路を指す場合があります。ここでは内部回路をインバータ部と表します。

図のようにコンバータ部で交流を直流に変換し、インバータ部で直流を可変周波数の交流に逆変換します。インバータ部では、パルス電圧のデューティ比を制御してモーターに印加する電圧を調整する PWM (Pulse Width Modulation; パルス幅変調) 制御を行っています。

インダクションモーターの回転速度は、電源周波数と極数で決まるので、電源周波数を変化させればモーターの可変速駆動が可能になります。しかし、周波数の変化に伴いモーター巻線のインピーダンスも変化します。そのため、単に周波数を可変するだけでは電流不足によるトルク不足や、電流過剰による磁気飽和などを生じ、モーターの効率および力率の著しい低下を引き起こします。

インバータ FE200A は、V/f 制御の可変速制御方式を採用しています。V/f 制御は、周波数を変化させる際に、インバータ出力電圧を同時に制御することにより、モーター磁束を一定に保ち、広範な可変速駆動運転に対してモーターの効率および力率を低下させないように制御する方式です。電圧 (Voltage) と周波数 (Frequency) の比を制御することから V/f 制御と呼ばれています。

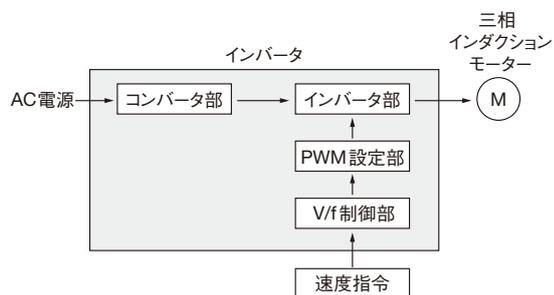


図3 システム構成

2.2. 三相インダクションモーターの特徴

図4に三相インダクションモーターの構造を示します。三相インダクションモーターは、回転磁界を作るために電磁鋼板に巻線を施したステータと、アルミと電磁鋼板で形成されたかご形ロータとで構成されています。

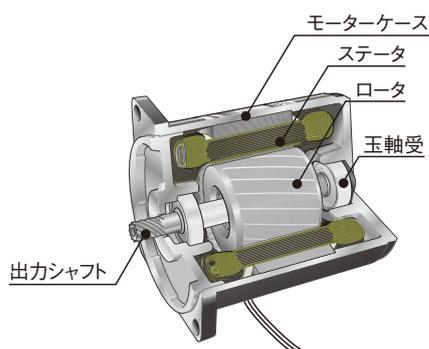


図4 三相インダクションモーターの構造

三相インダクションモーターの回転速度は、電源周波

数により決まる磁界の回転速度に依存します。ステータにより発生する回転磁界とロータに誘起される誘導電流との間に発生する電磁力を利用しているため、両者の回転速度に差がないと力を発生することができず、速度差が大きいほど大きなトルクを発生します。このようなモーターの特徴があることで一定周波数を瞬時に与えても起動トルクを得る事ができ、商用電源を印加するだけで簡単に回すことができます。

図5に商用周波数50Hzで駆動した時の当社4IK25GN-SW2 (25W) の回転速度-トルク特性を示します。モーター最大効率は定格回転速度1300r/min付近で約52%となります。

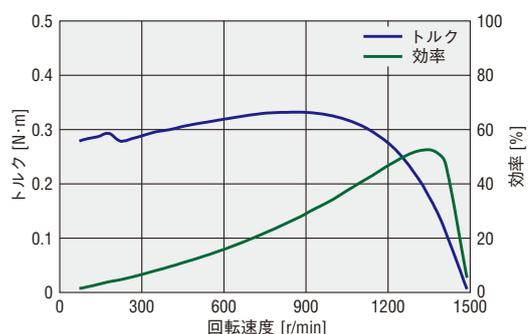


図5 4IK25GN-SW2の回転速度-トルク特性 (三相200V-50Hz)

3. ブラシレスモーターユニットのシステム構成および特徴

ブラシレスモーターは単体で駆動させることはできず、専用の駆動回路 (ドライバ) が必要となります。ここではブラシレスモーターユニットのシステム構成および特徴について説明します。

3.1. システム構成

図6にブラシレスモーターユニットのシステム構成を示します。当社のブラシレスモーターユニットはホール IC による磁極センサを備えた表面磁石型同期モーターと PWM 制御ドライバとの組み合わせで構成されています。

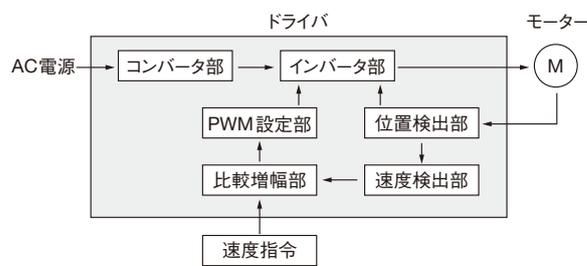


図6 システム構成

コンバータ部、インバータ部による直流変換と PWM 制御による電圧調整についてはインバータと同様です。インバータとの大きな違いはモーター部に位置検出のためのフィードバックセンサとしてホール IC を搭載し

ていることです。ホールICからの位置信号によりインバータ部のスイッチングシーケンスが決定されモーターは回転します。

3.2. ブラシレスモーターの特徴

図7にブラシレスモーターの構造を示します。ブラシレスモーターは機械的接点を持たないことから無整流子電動機とも呼ばれ、ロータの磁極検出のためにモーター内部にホールICが配置されています。

ステータには三相巻線が施され、ロータには銅損を発生せずにロータ界磁が得られる永久磁石を備えています。

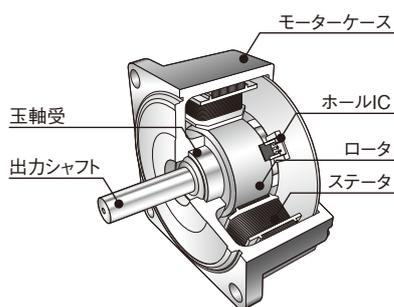


図7 ブラシレスモーターの構造

図8に一定の電源電圧を印加した時のブラシレスモーターの回転速度—トルク特性を示します。モーターのトルクはモーター巻線に流れる電流の大きさに比例しますが、回転速度に比例して発生する逆起電力の影響でモーター巻線に流れる電流が小さくなるため、速度が増加するにつれトルクが低下していく垂下特性を示します。

当社 BLH230 タイプ (30W) のモーター最大効率は約 74% となります。

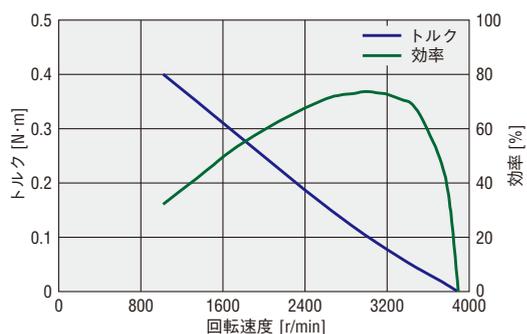


図8 BLHM230K-GFSの回転速度—トルク特性 (DC24V)

速度を制御する場合には、ホールICの位置信号から速度検出部で速度信号を生成し、比較増幅部において速度設定器で設定した速度と比較して偏差信号とし、これを基にモーター各相に印加する電圧をPWM制御により調整します。

4. エネルギーフローの比較

ここで損失発生の違いについて述べます。

図9にインバータ駆動による三相インダクションモーターのエネルギーフローを、図10にブラシレスモーターユニットのエネルギーフローを示します。

三相インダクションモーターは一次側 (ステータ) に流した電流の電磁誘導作用により二次側 (ロータ) に誘導電流が流れ、結果として二次側にも銅損が発生します。

ブラシレスモーターは永久磁石を内蔵しているため、二次側に電流を流す必要がなく一次側の電流も抑えることができます。三相インダクションモーターと比較すると二次側の銅損がないため、全体の損失を抑えることができます。これにより、モーターの高効率化が図れます。

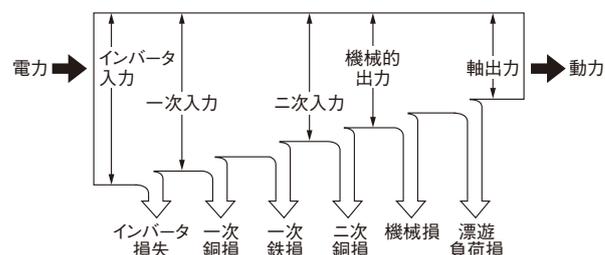


図9 インバータ駆動による三相インダクションモーターのエネルギーフロー

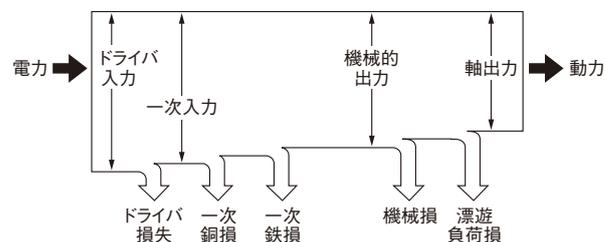


図10 ブラシレスモーターユニットのエネルギーフロー

5. 効率の比較

インバータで三相インダクションモーターを駆動したときの効率とブラシレスモーターユニットの効率の比較について、総合効率、駆動回路効率、モーター効率に分類して以下に述べます。

5.1. 効率の定義

各効率は、それぞれ以下のように定義します。

(図11参照)。

・ 総合効率

駆動回路でモーターを運転したときの駆動回路の入力に対するモーターの出力比

$$\eta_1 = P_3 / P_1 \times 100 [\%]$$

・ 駆動回路効率

駆動回路の入力に対する駆動回路の出力比

$$\eta_2 = P_2 / P_1 \times 100 [\%]$$

・ モーター効率

モーターの入力（駆動回路出力）に対するモーターの出力比

$$\eta_3 = P_3 / P_2 \times 100 [\%]$$

P_1 : 駆動回路入力電力 [W]

P_2 : モーター入力（駆動回路出力) [W]

P_3 : モーター出力 [W]

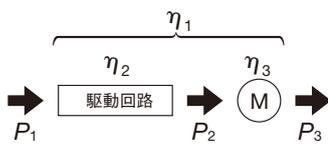


図 11 効率の定義

5.2. 比較製品と測定条件

インバータ	FE200A
三相モーター	FH512SC- □ S (取付角 90mm -120W)
ブラシレスモーターユニット	BLE512AA- □ (取付角 90mm -120W)

《測定条件》

- ・ モーター出力 :120W
- ・ 駆動回路電源電圧 : 単相 100V-50Hz
- ・ 定格運転（定格回転速度、定格トルク）に対し
 負荷 :100%、80%、60%、40%、20%
 速度 :100%、75%、50%、25%

5.3. 総合効率

縦軸に総合効率、横軸に負荷をとり、各速度の時の総合効率の比較を図 12 に示します。

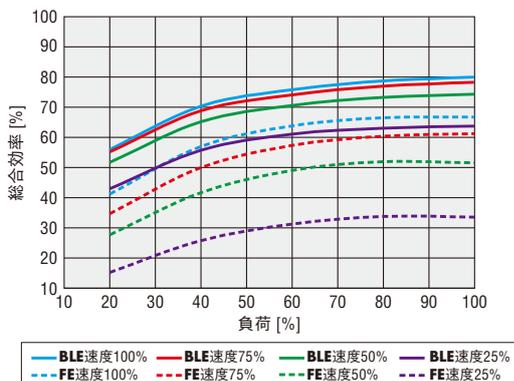


図 12 総合効率比較

同出力条件の全速度領域において BLE シリーズの効率が優れていることがわかります。

5.4. 駆動回路効率

縦軸に駆動回路効率、横軸に負荷をとり、各速度の時の駆動回路効率の比較を図 13 に示します。

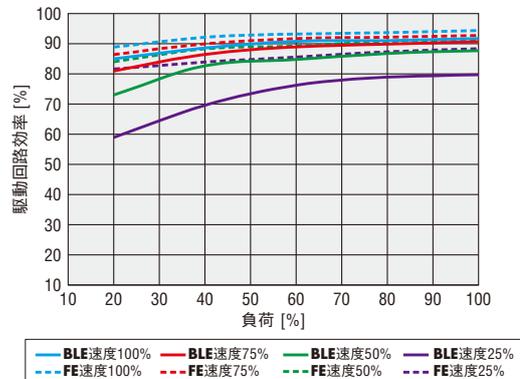


図 13 駆動回路効率比較

低速域において BLE シリーズドライバの効率が低くインバータ FE200A の効率が低い傾向にあります。BLE シリーズは負荷率に応じて駆動回路からモーターへの供給電力調整を行っているのに対し、インバータ FE200A は負荷に応じた電圧調整がされず、常に大きい電力をモーターに供給しています。そのために、駆動回路の効率はインバータ FE200A のほうが BLE シリーズより高く算出されます。

両製品とも駆動回路の損失は速度比・負荷率に関わらず 8~10W と同じで、総合効率に対する影響は少ない値となっています（図 14）。

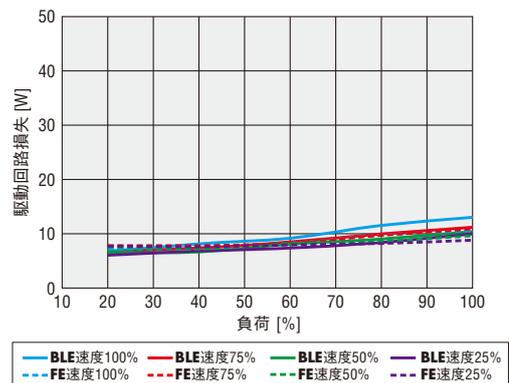


図 14 駆動回路の損失比較

5.5. モーター効率

縦軸にモーター効率、横軸に負荷をとり、それぞれ駆動回路で制御した場合の各速度のモーター効率の比較を図 15 に示します。

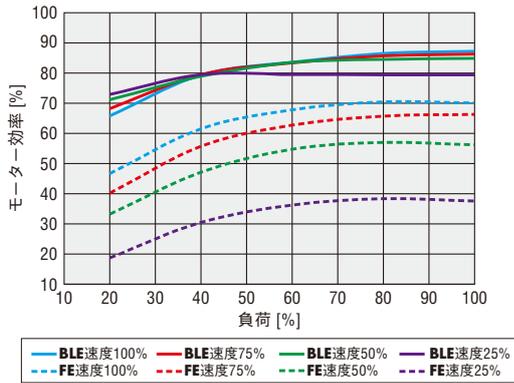


図 15 モーター効率比較

インバータ FE200A と三相インダクションモーターの組み合わせでは低速になるほど、著しく効率低下するのに対し、ブラシレスモーターは設定速度に関わらず高い効率特性を維持しています。総合効率特性と同様に同出力条件の全速度領域においてブラシレスモーターの効率が優れています。

5.6. 考察

以上の結果より、総合効率を左右しているのはほとんどモーターの効率であると言えます。ブラシレスモーターはその動作原理の違いと構造の違いにより、三相インダクションモーターのインバータ駆動に対して極めて高い効率を示します。

6. まとめ

三相インダクションモーターのインバータ駆動は、回転速度を制御する方法として普及しています。特にポンプやファンなど、負荷トルクが回転速度の2乗に比例し増加していく装置では、モーターを一定速駆動でダンパやバルブなどのメカ機構で流量制御していた部分を、必要な流量に応じてモーターの回転速度を制御できる可変速駆動とすることで、大きな省エネルギー効果が得られます。

また、コンベアなどの一定負荷用途においても回転速度を下げることによりインバータ入力が増減し、消費電力を低減することができます。

一方、ブラシレスモーターは、回転速度の全領域、全負荷領域で三相インダクションモーターのインバータ駆動に比較して総合効率が高いため、より省エネルギー効果が図れます。さらに、同一の出力でもモーター体積を小さくすることができ、装置の小型化・軽量化を実現することができます。

参考文献

- (1) 本間 正, 「小型三相インダクションモーター FH シリーズの高効率化技術」, RENGA No.172, (2010)
- (2) 白幡 和也, 「各種速度制御モーターの速度制御方式」, RENGA No.166, (2006)

筆者



芳賀 秀夫

TM 事業部
技術部 技術課