

ブラシレスモーターユニット BLE シリーズの制御技術

瀧本 正浩

Control technology of **BLE** Series brushless motor and driver package

Masahiro TAKIMOTO

Brushless motors have received much attention as a small, highly-efficient motor of which speed can be controlled easily. For our development of the “**BLE Series**” brushless motor, the vector control drive method, which has been widely-adopted for AC servo motor control, was selected as the motor control method. In the vector control, directly controlling the motor current makes it possible to control the motor torque instantaneously. The instantaneous torque control can change the generated torque easily and leads to an improvement of the start-up characteristics when driving vertical loads.

This article describes the outline of the vector control technology used for the **BLE Series**, the torque control function, improvement of display range of load factor, and the lineup of electromagnetic brake-equipped types, that were made possible by using the vector control method.

1. はじめに

近年、省エネルギーの要求から、ロータに永久磁石を用いたブラシレスモーターの需要が高まっています。⁽¹⁾

ブラシレスモーターは、インバータ駆動のインダクションモーターよりも高効率で、可変速範囲が広いという利点があります。また、モーターに永久磁石を内蔵しているため、小型でありながら高出力を得ることができます。

BLE シリーズ（図 1）では、AC サーボモーターに広く用いられているベクトル制御を採用することで、モータートルクを自由に調整できる「トルク制限機能」を搭載しました。さらに、電磁ブレーキの自動制御を行い、電磁ブレーキ付ユニットとして製品化しました。

ここでは、BLE シリーズのモーター制御方式の概略を解説し、新機能であるトルク制限機能、電磁ブレーキ自動制御機能などを紹介します。

また、データ設定器 OPX-2A、データ設定ソフト MEXE02 を使うことで、運転データやパラメータを容易に設定できることも紹介します。



図 1 ブラシレスモーターユニット BLE シリーズ

2. ブラシレスモーターの制御

ブラシレスモーターの駆動方式には、矩形波駆動方式と正弦波駆動方式があります。BLE シリーズでは、正弦波駆動方式を採用していますので、ここでは正弦波駆動に限定して解説します。

2.1. 一般的な制御

ブラシレスモーターの回転速度を制御する場合、図 2 のように速度ループを構成するのが一般的です。

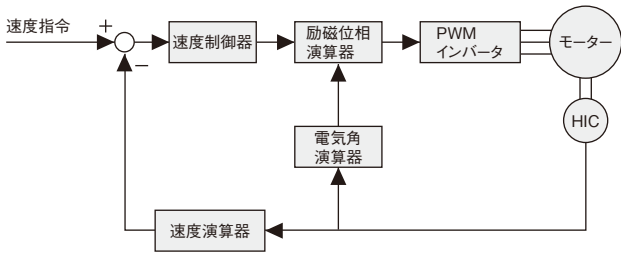


図2 ブラシレスモーターの制御ブロック図

速度ループは、モーター速度が速度指令に追従するように動作します。ブラシレスモーターでは、モーター速度とロータの磁極位置を検出する必要があるため、モーターの内部にホール IC (HIC) が取り付けられています。ホール IC のフィードバック情報から演算した速度検出値と速度指令値を比較演算し、速度が指令値に追従するようにモーター印加電圧を決定します。

モーター印加電圧の位相は誘起電圧の位相に合わせますが、高速運転時にはモーターインピーダンスの増加により位相遅れが生じて効率の低下をもたらします。そのため、効率の改善を目的に、モーター速度に応じて励磁位相を進める進み角制御を行います。

この制御方式のメリットは、回路構成が簡単なため部品点数が少なく済むことです。また、速度ループのみの構成のため、モーター制御系の調整要素が少なく済みます。

一方、モーターの電流情報を得る回路を付加していないため、モータートルクを瞬時に制御して起動特性を向上させたり、トルクの大きさを自由に調整することができません。そのため、速度の応答性も必ずしも優れているとは言えません。

2.2. ベクトル制御

ベクトル制御は、トルクや速度に高い応答性が要求される場合に用いられる制御方式で、AC サーボモーターなどに広く使われています。最近では、お客様の装置に合わせて、モーターのトルクを調整したいという要求が高まってきており、そのような用途にもベクトル制御が適しています。

図3に、ベクトル制御の概念図を示します。電気角周波数と同期して回転する磁束ベクトルの方向を d 軸、直交する方向を q 軸と定義します。モーター電流ベクトル i を常に q 軸方向に保つように制御します。このとき、モーターの発生トルク T_e はモーター電流 (q 軸電流) に比例します。すなわち、以下の関係が成り立ちます。

$$T_e = K_t \times i_q$$

ここで、 K_t :トルク定数、 i_q :q 軸電流

トルク定数は、ロータマグネットの磁力で決まる定数です。よって、モーターの発生トルクは、q 軸電流の大きさのみで制御することが可能となります。

AC サーボモーターのような高性能なベクトル制御を実現するためには、精度の高い電流検出回路と、エンコーダなどの高分解能な磁極位置センサが必要となります。

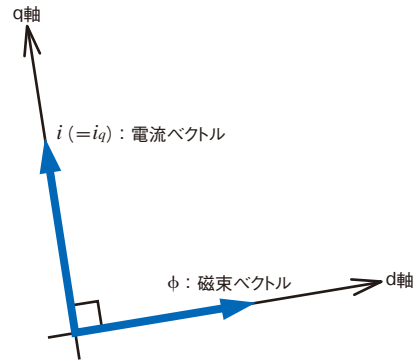


図3 ベクトル制御時のロータ磁束と電流ベクトル

3. BLE シリーズのモーター制御

BLE シリーズでは、ベクトル制御を搭載し、モーター発生トルクの大きさを自由にコントロールすることを可能にしました。

ここでは、BLE シリーズのモーター制御ブロック、相電流検出回路、ロータ磁極位置推定について説明します。

3.1. モーター制御ブロック

図4に、BLE シリーズのモーター制御ブロック図を示します。

図2に示した従来の制御方式と異なり、速度ループの内側に、電流ループを構成しています。電流ループは、相電流検出回路と q 軸電流演算器から得られた q 軸電流値が、速度制御器の出力である q 軸電流指令値に追従するように、PWM インバータの出力電圧を調整します。

このような制御方式とすることで、モーター電流を高速に応答させ、負荷変動などによる速度変動に強い制御系を実現しています。また、q 軸電流指令値の上限を変えることで、モーター発生トルクの最大値を可変する「トルク制限」が可能となります。

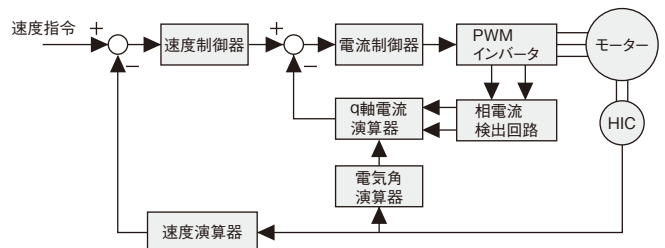


図4 BLE シリーズのベクトル制御ブロック図

3.2. 相電流検出回路

図5および図6に、一般に実用化されている相電流検出方法を示します。図5の方式は、モーター動力線に直接検出抵抗を挿入し、検出抵抗の両端の電圧をマイクロコンピュータ（CPU）に取り込んで電流検出値とする方法です。高精度な検出が行えるため、ACサーボモーターの駆動回路などに多く採用されています。しかし、絶縁回路が必要となるため、回路構成が複雑で部品コストも高くなります。

BLEシリーズでは、図6に示す方式を採用しました。この方式では、インバータ主回路の下アームに流れる電流を検出抵抗によって検出します。検出電圧をCPUでサンプリングし、ソフトウェア処理することにより相電流が得られます。この方式は、図5の方式と比較して、回路構成が簡単で、部品コストも抑えることができます。一方、回路インピーダンスの影響を受けやすいため、設計には十分な配慮が必要となります。

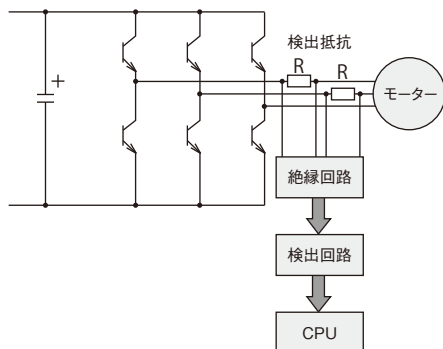


図5 モーター電流を直接検出する方法

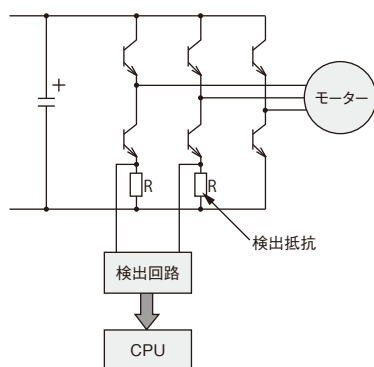


図6 モーター電流を間接検出する方法

3.3. ロータ位置推定

ベクトル制御では、正弦波状の相電流とするために、ロータの位置を連続的に知る必要があります。

ブラシレスモーターの場合、ロータの磁極位置センサに、ホールICを使うのが一般的です。この場合、磁極位置検出の分解能は電気角で60度しかなく、ベクトル制御を搭載した場合の性能を十分に発揮できません。そこで、電気角推定アルゴリズムを新たに開発しました。

電気角推定を行うと、ロータ位置が連続的に推定可

能となるため、正弦波駆動が可能となります。このときのモーター相電流波形を図7に示します。位置推定により、推定を行わない場合と比較して、モーター相電流波形が正弦波状に改善されていることがわかります。

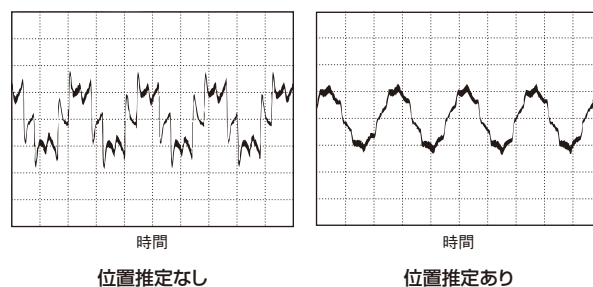


図7 モーター相電流波形

4. トルク制限と負荷率表示

4.1. トルク制限精度の向上

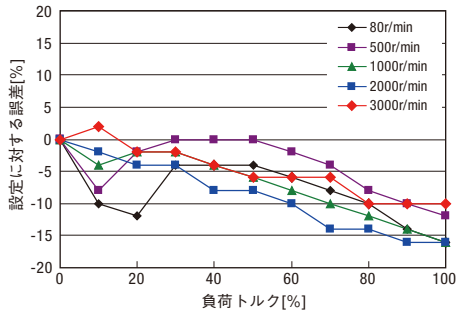
先に述べたように、ベクトル制御を行った場合、モーター発生トルクは、モーター電流に比例します。この特性を利用し、モーター電流の大きさを制御することでモーターの発生トルクの大きさを自由に変えることができます。

BLEシリーズでは、トルク制限機能を使用することで、巻き取り用途、押し当て用途など、お客様の装置に合わせてモータートルクの最大値に制限を設けることが可能です。

従来品のトルク制限機能は、モーター相電流の推定値からトルク制限値を決定していたため、推定誤差によるトルク誤差が発生していました（図8-上）。BLEシリーズでは、モーター相電流の検出を行っているため、従来品と比較してトルク誤差を3分の1程度に少なくすることができました（図8-下）。

トルク制限機能は、オプションのデータ設定器OPX-2A、またはパソコン設定ソフトMEXE02を使うことで設定でき、設定範囲は0%~200%（定格トルクを100%とする）となります。

従来品



BLE512AA-1

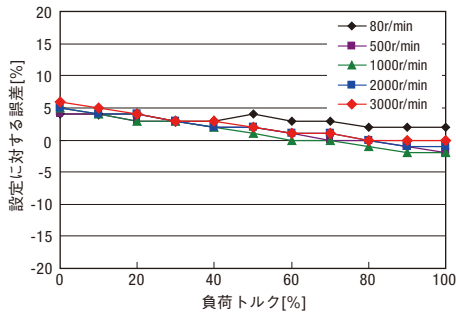


図8 トルク制限値に対する誤差の比較

(※注) トルク制限精度は、温度によって異なります。

る電磁ブレーキ制御のタイミングを考慮する手間がなく、また装置の省配線が可能となります。

図9にドライバと電磁ブレーキ付モーターの接続図を示します。

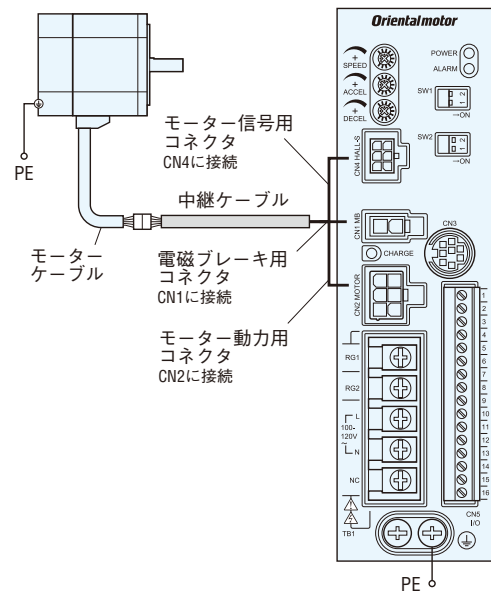


図9 電磁ブレーキ付モーターの接続図

4.2. 負荷率表示の範囲

負荷率表示は、モーター出力軸に取り付けられた装置などの負荷トルクを、データ設定器、もしくはデータ設定ソフトでリアルタイムに表示する機能です。

従来品では、軽負荷時のトルク推定が困難だったため、負荷率表示範囲は40%からでしたが、BLEシリーズでは0%からの表示が可能です。

5. 電磁ブレーキ自動制御による上下運転

BLEシリーズでは、新たに電磁ブレーキ付タイプをラインアップしました。ベクトル制御によって瞬時にトルクを制御できるため、上下運転を行った場合にも、優れた特性が得られます。

5.1. 電磁ブレーキ自動制御

ブラシレスモーターには、モーター停止時の保持力がありません。したがって、昇降機の駆動用にブラシレスモーターを使用する場合、モーター停止時にワークを保持するための電磁ブレーキ機構が必要です。

従来品では、電磁ブレーキ付モーターの制御は、上位コントローラを使って行うことが必要でした。また、運転信号と電磁ブレーキ制御信号の入力タイミングを考慮したシーケンスプログラムを組む必要がありました。

BLEシリーズでは、ドライバに電磁ブレーキケーブルのコネクタを接続するだけで、運転信号入力に連動した電磁ブレーキ制御が行えます。上位コントローラによ

5.2. 巻き下げ運転

ブラシレスモーターを昇降運転に使用した場合、ワーク下降時にはモーターが回生運転となり、モーターで発電されたエネルギーがドライバ内部に戻ります。このエネルギーを消費させるために、回生ユニットが必要です(図10)。回生ユニットを使用した場合の巻き下げ運転能力を図11に示します。



図10 回生抵抗ユニット EPRC-400P

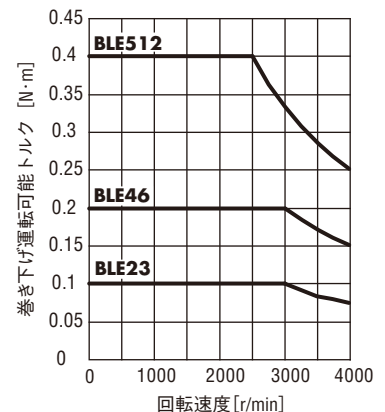
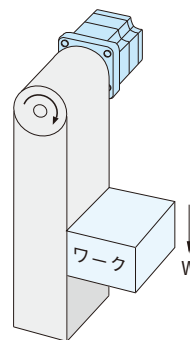


図11 巻き下げ運転能力

6. 製品紹介

6.1. 製品ラインアップ

表 1 に BLE シリーズのラインアップと製品仕様を示します。従来品にはなかった、電磁ブレーキ付タイプを全型番にラインアップしました。

6.2. データ設定器、データ設定ソフト

データ設定器 (OPX-2A)、データ設定ソフト (MEXE02) に対応し、パラメータや運転データの設定を容易にしました。また、以下に示すような拡張機能も使用可能となります。

- ・パラメータ、運転データの設定
- ・デジタル 8 速運転
- ・トルク制限のデジタル個別設定
- ・負荷率表示
- ・I/O モニタ
- ・速度波形モニタ (MEXE02 のみ)
- ・テスト運転 (JOG 運転)
- ・アラーム・ワーニングの内容・履歴確認
- ・設定状態の読み込み、他のドライバへのコピー



図 12 データ設定器 OPX-2A



図 13 データ設定ソフト MEXE02

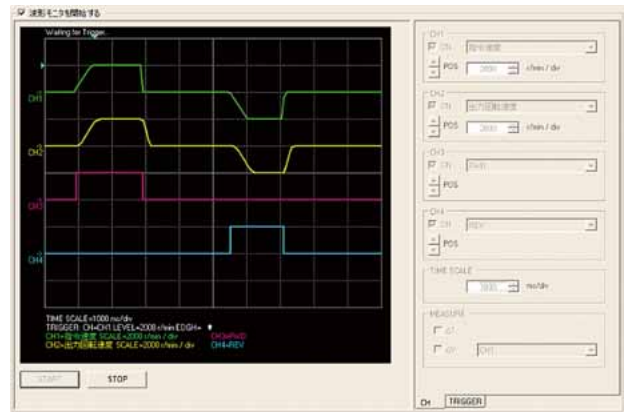


図 14 MEXE02 の波形モニタ画面

7. まとめ

今回開発した BLE シリーズは、ベクトル制御をモーター制御部に採用しました。その結果、従来のブラシレスモーターユニットの優れた特徴に加え、トルク制限機能の搭載、負荷率表示範囲の向上、電磁ブレーキ自動制御、データ設定器やデータ設定ソフトを使った簡単パラメータ設定など、特性面、機能面を充実させることができました。

今後も、さらなるモーター制御性能向上と機能の充実に努めてまいります。

参考文献

- (1) 芳賀秀夫, 「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」,RENGA No.173, (2010)

筆者



瀧本 正浩

オリエンタルモーター鶴岡カンパニー
関東オフィス 回路開発課

ORIENTAL MOTOR

表 1 BLE シリーズのラインアップ

品名	標準タイプ	BLE23A/C/S□■-◇			BLE46A/C/S□■-◇			BLE512A/C/S□■-◇		
	電磁ブレーキ付タイプ	BLE23AM/CM/SM□■-◇			BLE46AM/CM/SM□■-◇			BLE512AM/CM/SM□■-◇		
モーター取付角寸法	[mm]	60			80			90		
定格出力	[W]	30			60			120		
定格電圧	[V]	単相 100-120	単相 200-240	三相 200-240	単相 100-120	単相 200-240	三相 200-240	単相 100-120	単相 200-240	三相 200-240
定格電流	[A]	1.3	0.8	0.45	2.0	1.2	0.7	3.3	2.0	1.2
最大電流	[A]	3.5	2.1	1.2	4.5	2.6	1.5	8.2	4.4	2.5
定格トルク	[N・m]	0.1			0.2			0.4		
起動トルク	[N・m]	0.2			0.4			0.8		
定格回転数	[r/min]	3000								
速度制御範囲	[r/min]	100-4000 (アナログ設定時) / 80-4000 (デジタル設定時)								

※品名中の □ には、減速比を表す数字が入ります。

品名中の ■ には、減速機のタイプを表す **S** (平行軸ギヤヘッド) または **F** (中空軸フラットギヤヘッド) が入ります。

品名中の ◇ には、中継ケーブルの長さを表す数字が入ります。