

三菱センサレスサーボ “FR-E720EX・MM-GKRシリーズ”

西島大輔* 寺島 覚*
諸星俊夫* 十時詠吾**
宮崎高志*

Mitsubishi Sensorless Servo "FR-E720EX・MM-GKR Series"

Daisuke Nishijima, Toshio Morohoshi, Takashi Miyazaki, Satoru Terashima, Eigo Totoki

要 旨

これまで、インバータとACサーボは可変速駆動機器という共通性を持ちつつ、産業界で各々固有の適用範囲を拡大している。しかし、近年の産業界のグローバル化に伴い、装置を構成する駆動システムでも一層の価値向上が求められており、従来は安価なACサーボのラインアップなどでコスト低減を実施していた。今回、更なる価値向上を図るため、全く異なるアプローチとして既存のインバータ・ACサーボという機種の枠を超えた“三菱センサレスサーボ”の開発を行った。この開発によって、センサレス(検出器非搭載)で簡易位置決めを可能にしたドライブユニット“FR-E720EX”とサーボモータ“MM-GKR”を新規ラインアップしている。

この機種の主な特長は次のとおりである。

(1) センサレスで高精度

PM(Permanent Magnet)モータをPMセンサレスベクトル制御によって、センサを使用せずに磁極位置、速度を検出する高精度な運転を実現しており、①位置決め運転(位置決め精度 $\pm 1.8^\circ$)、②負荷変動時も安定した運転(速度変動率 $\pm 0.05\%$ 、速度制御範囲1:1,000、速度応答100Hz)、③停止時も保持トルクによって外力による移動の防止が可能となる。

(2) センサレスでコンパクト

ACサーボモータの小形機をベース機種としており、さらに、センサレス化によって検出器が不要となるため、コンパクトな外形サイズを可能としている。



三菱センサレスサーボ
FR-E720EXシリーズ
MM-GKRシリーズ



サーボモータの小形化

センサレスサーボ標準仕様					
ドライブユニット	FR-E720EX-□K	0.1	0.2	0.4	0.75
出力	定格電流(A)	0.8	1.5	3	5
	過負荷電流定格	150% 60s, 200% 3s (モータ定格電流基準, 反限時特性)			
電源	定格入力	3相200~240V			
	交流電圧・周波数	50/60Hz			
	交流電圧許容変動	170~264V 50/60Hz			
	周波数許容変動	±5%			
保護構造	閉鎖型(IP20)				
冷却方式	自冷				
概略質量(kg)		0.5	0.7	1.0	
サーボモータ	MM-GKR□□	13	23	43	73
	定格出力(kW)	0.1	0.2	0.4	0.75
連続特性	定格トルク(N・m)	0.32	0.64	1.3	2.4
	最大トルク(N・m)	0.64	1.3	2.5	4.8
定格/最高回転速度(r/min)	3,000				
定格電流(A)		0.65	1.08	1.94	3.34
保護構造	全閉自冷(IP65)				
質量(kg)		0.40	0.77	1.3	2.7

三菱センサレスサーボ“FR-E720EX・MM-GKRシリーズ”

FR-E720EXシリーズ、MM-GKRシリーズは0.1~0.75kWをラインアップしており、専用のドライブユニットとサーボモータを組み合わせて使用される。また、サーボモータの小型化によって、“MM-GKR13”は名刺サイズを実現している。

1. ま え が き

従来、インバータとACサーボは可変速駆動機器という共通性を持ちつつ、主としてインバータは速度制御用途・及び省エネルギー化、ACサーボは装置の高精度位置制御用途という需要に支えられ、産業界で各々固有の適用範囲を拡大している。ところが、近年の産業界のグローバル化に伴い、国内外の装置メーカーは従来以上に熾烈(しれつ)な競争環境に置かれており、これに勝ち抜くためには装置自体はもとより、装置を構成する駆動システムでも一層のコスト低減や付加価値の向上が求められている。

こうした状況下、三菱電機は既存のインバータ・ACサーボという機種の枠を超えたセンサレス(検出器非搭載)で簡易位置決めを可能にした“三菱センサレスサーボ”を新規開発し、顧客・市場へ新しい駆動システムの選択肢を提案する(図1)。

本稿では、三菱センサレスサーボ“FR-E720EX・MM-GKRシリーズ”の特長、及び仕様実現のために新規開発した内容について述べる。

2. センサレスサーボによる特長と価値向上

2.1 駆動システムのコスト低減

ドライブユニット“FR-E720EX”，サーボモータ“MM-GKR”はともに発売済みの標準機種をベースに新規開発を実施しており、部品共通化によるコスト低減を実現している。ドライブユニットはサーボアンプより安価なインバータをベースに使用しており、さらに、サーボモータではセンサレス化と検出器ケーブル不要による省配線化によって、駆動システムのコスト低減を図ることができるメリットもある(図2)。

2.2 センサレス簡易位置決めによる付加価値向上

高周波重畳によるPMセンサレスベクトル制御、及びPMセンサレスベクトル制御用サーボモータを新規開発することで、従来のインバータでは実現できなかった簡易位

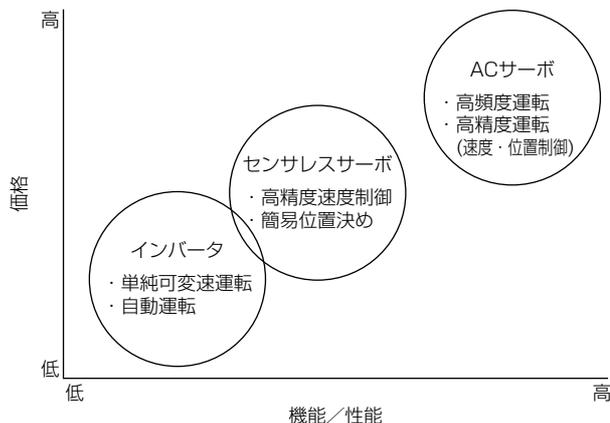


図1. 従来機種とセンサレスサーボ

置決め(位置決め精度 $\pm 1.8^\circ$)を実現した。

これによって、速度制御用途のインバータ・高精度位置決め用途のACサーボに加えて、簡易位置決め用途のセンサレスサーボの選択肢が増えるため、従来以上に用途に合わせた機種選択が可能となる。

2.3 センサレスサーボモータの付加価値向上

PMセンサレスベクトル制御用サーボモータの特長を次に示す。

2.3.1 モータの小型化

センサレス化によって検出器が不要となるため、モータ全長の短縮が可能であり、装置の小型化に寄与できる。

2.3.2 高効率・軽量な新開発減速機

ロックドトレイン構造、アルミ製減速機ケースを採用した高効率(減速機効率80%以上)で軽量な小形減速機を新規開発しており、装置の小型化・省エネルギーに寄与できる(図3)。

2.3.3 ACサーボモータ取付け互換

ACサーボモータ標準機種との取付け互換を実現しており、装置の設計変更なしで置き換えが可能となる。なお、電源ケーブルもACサーボモータ標準機種と同一である。

3. センサレスサーボの開発

従来の制御方式、及びサーボモータではセンサレスによる位置決めを実現できない。

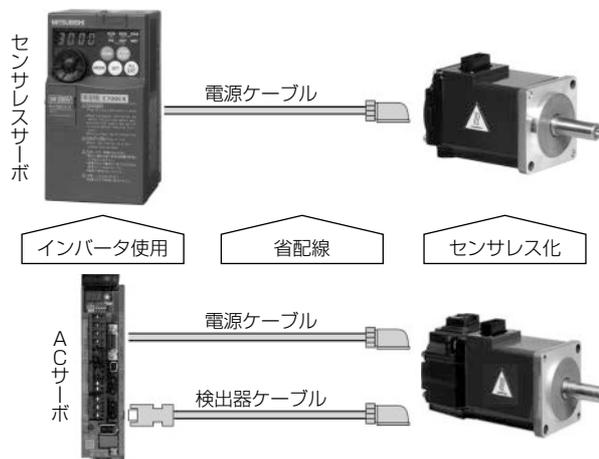


図2. センサレスサーボによる駆動システムのコスト低減



図3. 減速機付センサレスサーボモータ

そこで、高周波を重畳するPMセンサレスベクトル制御、及びPMセンサレスベクトル制御を考慮した専用サーボモータを新規開発して位置決め性能を達成している。

3.1 高周波重畳によるPMセンサレスベクトル制御のFR-E720EXシリーズ⁽¹⁾⁽²⁾

PMセンサレスベクトル制御は、ドライブユニット内部にモータモデルを持ち、電圧・電流から正確な磁束を演算・推定する適応磁束オブザーバによって速度・位置を推定することで高精度な制御を実現している。

しかし、適応磁束オブザーバはモータの誘起電圧を利用しているため、誘起電圧の小さくなる低速域では、電圧誤差の影響を受け正しく推定できなくなるという問題があった。そこで、低速域ではモータが持つインダクタンスの突極性(位置依存性)を利用して磁束推定を行う高周波重畳アシスト制御を行った。

次に、この制御方式の詳細について述べる。まず、モータの突極性とは、磁極位置によるd軸インダクタンスとq軸インダクタンスの差が異なる性質のことである。このインダクタンスの差異によって電流の大きさが変化するため、磁極位置の推定が可能となる(図4)。なお、モータの突極

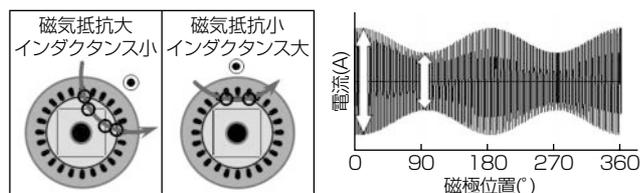


図4. 磁極位置によるインダクタンス差異と電流変化

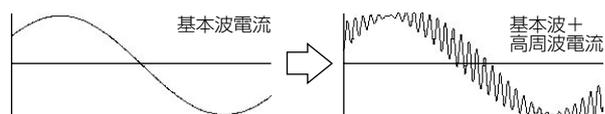


図5. 高周波印加の出力電流波形

性については、3.2節で述べる。

この推定に用いる電流は出力周波数とは異なる高周波の電流を基本波に印加することで、回転速度に影響することなく磁極位置を推定している(図5)。

具体的な制御ブロック図を図6に示して動作を述べる。

①高周波電流を流すために、制御d軸に高周波電圧を印加する。②高周波の印加された出力電流を座標変換し、ノッチフィルタ処理を行う事で、電流制御に使用する i_d , i_q と高周波電流 i_h に分離する。③この高周波電流 i_h によって回転子磁束を演算し、適応磁束オブザーバで使用する磁束を補正する。

この結果、全速度領域で適応磁束オブザーバによるモータ磁極位置の検出が可能となり、センサレスでの位置制御の実現が可能となった。

3.2 PMセンサレスベクトル制御用サーボモータMM-GKRシリーズ

PMセンサレスベクトル制御で磁極位置を推定するため、モータは突極性を持つことが求められる。

また、PMセンサレスベクトル制御用サーボモータを開発するに当たり、インバータ・ACサーボの中間機種の製品コンセプトを考慮して、ACサーボモータ標準機種をベースとした新規開発を実施した。

3.2.1 突極性の向上と回転子構造

永久磁石を使用した同期モータ(Permanent Magnet Synchronous Motor: PMSM)は、回転子の内部に永久磁石を埋め込んだ埋込磁石構造の同期モータ(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor: IPMSM)と回転子の表面に永久磁石を張り付けた表面磁石構造の同期モータ(Surface Permanent Magnet Synchronous Motor: SPMSM)に大別される(図7)。

IPMSMでd軸電流による鎖交磁束は、透磁率の低い磁

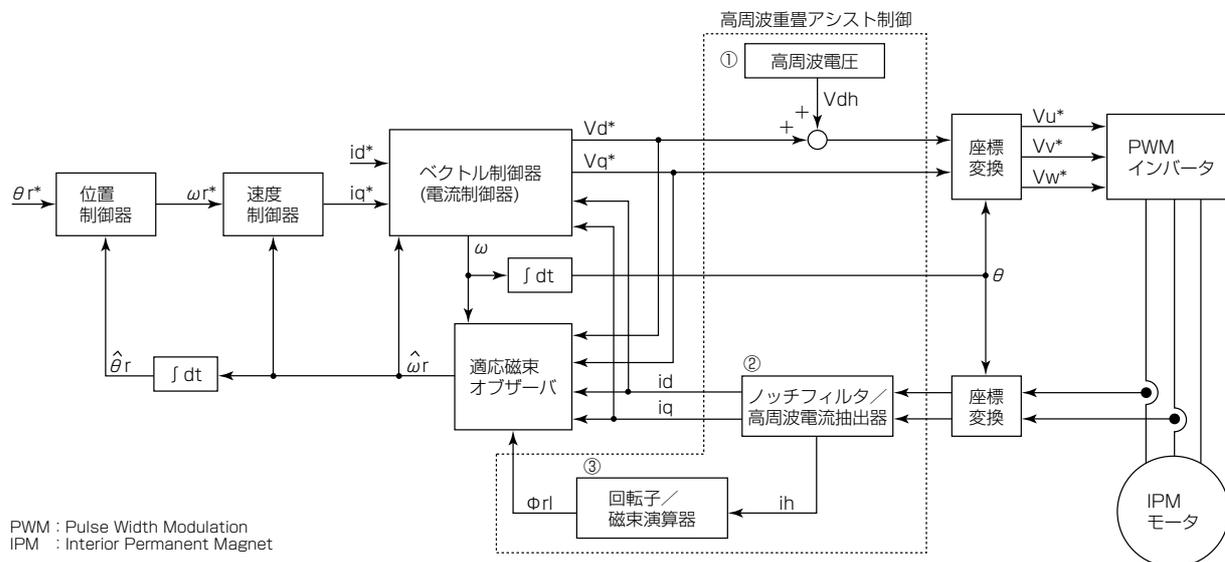


図6. PMセンサレスベクトル制御ブロック図

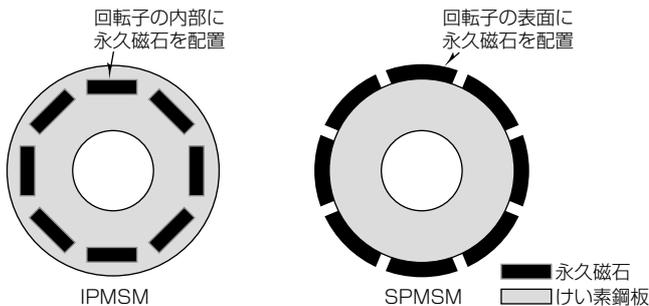


図7. IPMSMとSPMSMの回転子構造

石が磁路にあるため、d軸の磁気抵抗は大きく、d軸インダクタンスは小さくなる。一方、q軸電流による鎖交磁束は、透磁率の高いけい素鋼板が磁路にあるため、q軸の磁気抵抗は小さく、q軸インダクタンスは大きくなる。つまり、d軸インダクタンス<q軸インダクタンスとなり、突極性を確保できる特長がある(図8)。

一方、SPMSMはd軸、及びq軸電流による鎖交磁束は、常に透磁率の低い磁石が磁路にあるため、磁気抵抗は大きく、d軸、及びq軸インダクタンスには差異がない。つまり、d軸インダクタンス≒q軸インダクタンスとなり、突極性を確保することは困難である(図9)。

この回転子構造に起因する突極性を持つ特徴を考慮して、モータ構造はIPMSMを採用するが、IPMSMは回転子の内部に磁石が配置されるため、磁石の有効磁束量が小さくなるデメリットがある。

3.2.2 ACサーボモータをベースとした開発

一般的にインバータで駆動するモータは、高効率の要求が高く、モータサイズが大きい。一方、ACサーボでは高頻度運転が求められるため、モータサイズは小さい傾向にある。センサレスサーボモータは、インバータ・ACサーボの中間に位置するため、ACサーボからの置き換え用途を考慮して、小形なACサーボモータ標準機種をベースとした開発をする必要がある。さらに、小形なACサーボモータ標準機種をベースとすることでセンサレス化によるモータの小型化のメリットを生かすことも可能である。

ただし、IPMSMは3.2.1項で述べたように磁石の有効磁束量が小さくなるデメリットがあるため、磁石は回転子の外径方向に配置し、有効磁束量を増加させる設計とするのが一般的である。しかし、外径方向に配置する場合、図10に示す磁石挿入部と回転子外径との間に形成されたブリッジ部は薄肉形状となるため製造が困難である。また、ブリッジ部の形状はモータサイズによらず同等であり、大形のものに比べて小形なIPMSMの場合、相対的に磁石は内周方向に配置されるため、有効磁束量が大きく低下する課題があった。

この開発では、ブリッジ部の薄肉形状を実現する事で、従来に比べて外径方向への磁石の配置が可能となり、小形なIPMSMを実現している。また、電磁界解析技術を利用

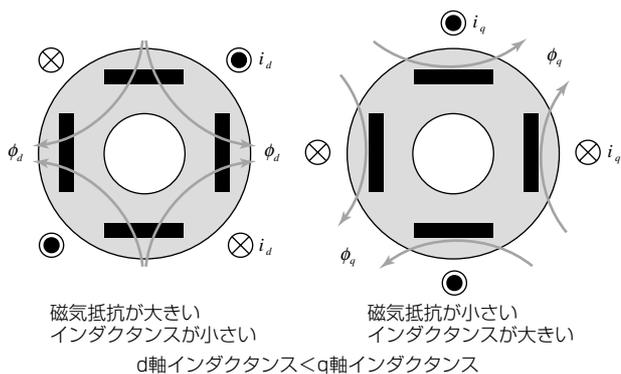


図8. IPMSMの突極性

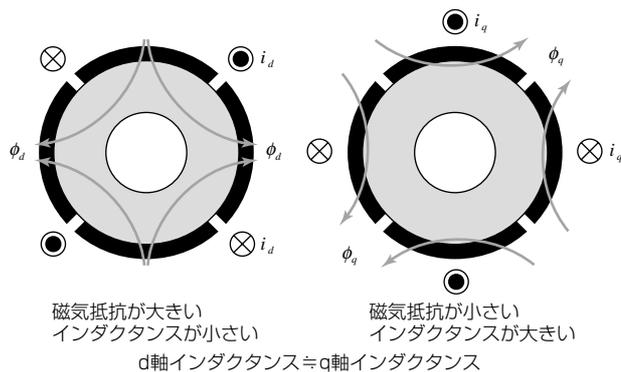


図9. SPMSMの突極性

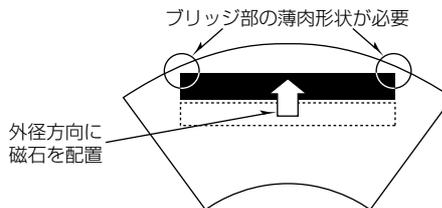


図10. IPMSM製造上の制約

して仕様に合わせた最適設計を行い、ベース機種に比べて磁石使用量を約30%削減している。

4. む す び

駆動システムにおける更なる価値向上を実現するため、既存のインバータ・ACサーボという機種の枠を超えたセンサレスで簡易位置決めを可能にした三菱センサレスサーボ“FR-E720EX・MM-GKRシリーズ”を開発した。この開発によって、インバータ市場やACサーボ市場に加えて、未電動化などの他の市場でも製品適用分野の拡大を図る。

参 考 文 献

(1) 池田克司, ほか: 次世代高機能汎用インバータ“FREQROL-A700シリーズ”, 三菱電機技報, 79, No.11, 735~738 (2005)

(2) 伊藤正人, ほか: 高周波電圧を用いた突極形PMモータの直接位置推定法, 電気学会論文誌.D, 131, No.6, 785~792 (2011)