

# 高調波注入方式による IPM モータセンサレスシステムの位置制御

尾中正人\* 野口季彦 (長岡技術科学大学)

Position Control of Mechanical-Sensorless IPM Motor Drive Using Harmonic Current Injection  
Masahito Onaka\*, and Toshihiko Noguchi (Nagaoka University of Technology)

## 1. はじめに

筆者らはこれまでに高調波電流注入方式による高調波瞬時無効電力の位相情報を利用した内部永久磁石モータ (IPM モータ) の磁極位置センサレス制御法を提案し、実機により零速度を含む広い速度制御範囲において加減速運転ならびに四象限運転を実現できることを確認した<sup>[1]</sup>。

本稿では提案したセンサレス制御法を用いた位置制御系において良好な特性が得られたので報告する。

## 2. 高調波瞬時無効電力に基づく磁極位置推定法

本手法では微小振幅の高調波電流を電流制御系の指令値に重畳して注入し、その周波数に対応する高調波瞬時無効電力  $Q_h$  を検出して磁極位置推定を行う。高調波瞬時無効電力  $Q_h$  は (1) のように高調波電圧と高調波電流の外積から求められる。

$$Q_h = v_{qh}i_{dh} - v_{dh}i_{qh} \tag{1}$$

$$= (\hat{w}_m + w_h)L_0I_h^2 + (w_m + Dw_m - w_h)L_1I_h^2 \cos(2w_h t - 2Dq_m)$$

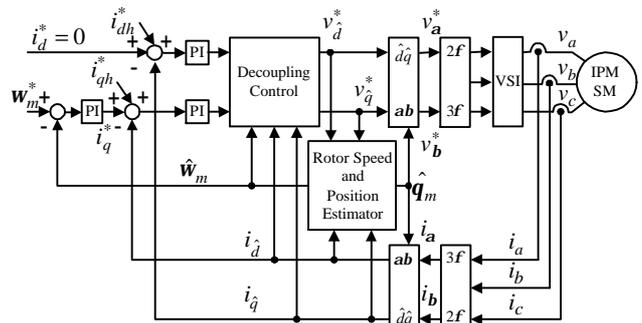
ここで、 $L_0 = (L_d + L_q)/2$ 、 $L_1 = (L_d - L_q)/2$ 、 $L_d$ 、 $L_q$  は  $d$  軸ならびに  $q$  軸インダクタンス、 $I_h$  は注入した高調波電流の振幅、 $w_h$  は注入した高調波電流の角周波数、 $w_m$ 、 $q_m$  は磁極の電気角周波数ならびに位置真値、 $\hat{w}_m$ 、 $\hat{q}_m$  は推定座標における磁極の電気角周波数ならびに位置推定値、 $Dq_m = q_m - \hat{q}_m$ 、 $Dw_m = w_m - \hat{w}_m$  である。

(1) の第 2 項だけを取り出すと、

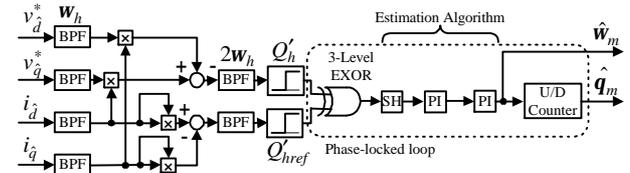
$$Q'_h = (w_m + Dw_m - w_h)L_1I_h^2 \cos(2w_h t - 2Dq_m) \dots \tag{2}$$

$Q'_h$  は基準位相信号となる  $\cos 2w_h t$  に対して位置推定誤差  $2Dq_m$  に相当する位相差をもつ。したがって、 $Q'_h$  が  $\cos 2w_h t$  と同相となるように  $\hat{q}_m$  を動的に修正すれば、磁極位置センサレス制御を実現することができる。

Fig. 1 は以上の推定アルゴリズムに基づいて構成した IPM モータの磁極位置センサレス制御システムである。この構成では、高調波電圧と高調波電流を中心角周波数  $w_h$  のバンドパスフィルタを用いて  $\hat{d}-\hat{q}$  座標上の電圧指令値と電流フィードバック値から抽出している。その後、(1) に基づき高調波瞬時無効電力  $Q_h$  を計算する。計算された  $Q_h$  を中心角周波数  $2w_h$  のバンドパスフィルタに入力して (2) の  $Q'_h$  のみを分離抽出する。一方、(2) と比較する基準位相信



(a) Block diagram of position-sensorless IPM motor drive.



(b) Position-and-speed estimator.

図 1 IPM モータの磁極位置・速度センサレス制御系  
Fig. 1. Position-sensorless IPM motor control system.

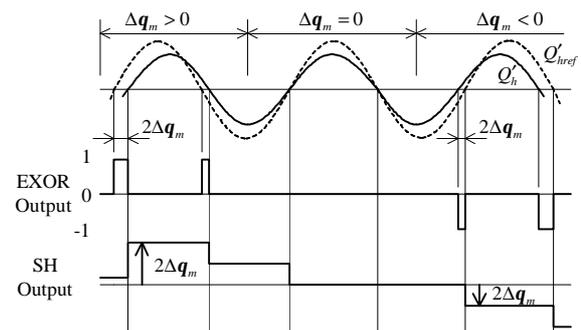


図 2 高調波瞬時無効電力の位相比較法

Fig. 2. Operation of rotor position and speed estimator.

号  $Q'_{href}$  はフィードバック電流の高調波成分を用いて次のように生成する。

$$Q'_{href} = i_{dh}^2 - i_{qh}^2 = I_h^2 \cos 2w_h t \dots \tag{3}$$

この  $Q'_{href}$  も  $Q'_h$  と同様に、中心周波数  $2w_h$  のバンドパスフィルタに入力しオフセットのない完全な交流信号とする。位相比較の方法を Fig. 2 に示す。

3. 提案したセンサレスドライブによる位置制御

Fig. 1(a) のアウトーループとして比例要素のみからなる位置制御器を追加することで位置制御システムを構築する。なお、実験に用いた供試機のパラメータを Table 1 に示す。

Fig. 3 に位置指令値をステップ変化させたときの磁極位置とその推定値の応答を示す。回転子位置の真値と推定値が共に 500 (ms) 以内で指令値に追従していることがわかる。また、真値と推定値の間の誤差は 0.2 (rad) 以内に抑制されている。

Fig. 4 に回転子の位置指令値を 0 (deg) から 360 (deg) まで約 10 (deg) ずつ変化させたときの、それぞれの位置での機械的振動の測定結果を示す。磁極位置の推定に高調波電流を注入しており、しかも磁極位置推定の過程で位置フィードバック値が白色雑音のようにランダムにばらつくため、このような振動を生じるが、その振幅は最大でも 1.5 (mech.deg) 程度である。Fig. 5 にその振動振幅をエラーバーとして表現した位置決め誤差特性を示す。その誤差は全範囲にわたって  $\pm 3$  (mech.deg) 以内に抑制されており、粗い位置決めには十分な性能と思われる。

4. まとめ

本稿では、高調波瞬时无効電力に基づく磁極位置推定法を用いたセンサレスドライブにおいて位置制御特性を検証した。その結果、注入した高調波や位置推定値の不確かさに起因する微小な機械的振動が生じるが、約  $\pm 3$  (mech.deg) の精度で位置制御が可能であることを実験的に示した。

表 1 モータパラメータと定格

Table 1 Motor parameters and ratings.

Nominal parameters of test motor			
Field flux linkage	0.306 (Wb)	Rated power	100 (W)
Armature resistance	14.8 ( $\Omega$ )	Rated voltage	200 (V)
Moment of inertia	0.00414 ( $\text{kgm}^2$ )	Rated current	0.7 (A)
<i>d</i> -axis inductance	0.248 (H)	Rated speed	1500 (r/min)
<i>q</i> -axis inductance	0.485 (H)	Number of poles	4

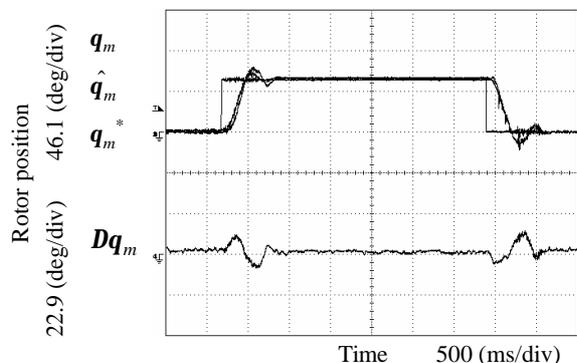
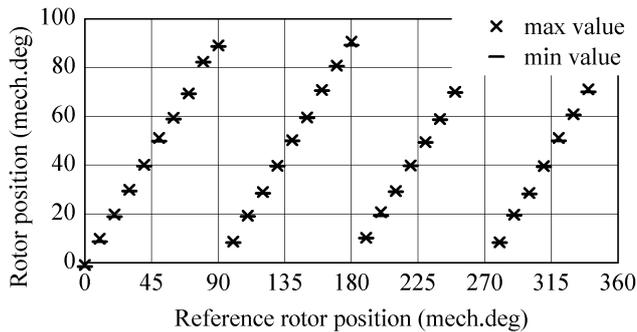
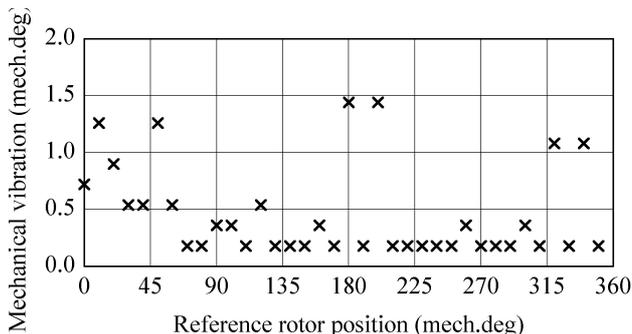


図 3 位置ステップ応答  
Fig. 3. Position step response.



(a) Characteristic of positioning.



(b) Mechanical vibration after positioning.

図 4 位置制御特性

Fig. 4. Characteristics of position control.

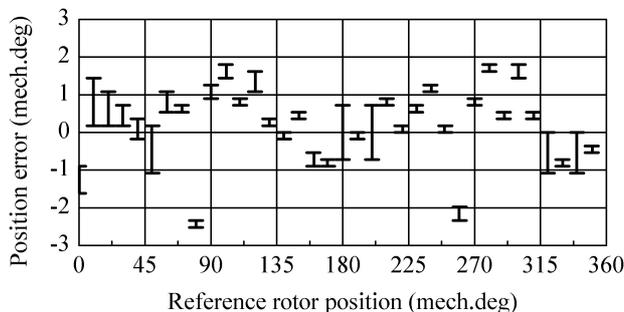


図 5 位置決め誤差の特性

Fig. 5. Characteristics of position error.

文献

[1] K. Motono, and T. Noguchi "Performance Improvement of Mechanical-Sensorless IPM Motor System Using Harmonic Current Injection," Proc. 2004 IEE-Japan SPC-04-29, 75-80, 2004  
元野和紀,野口季彦:「高調波注入方式による IPM モータセンサレスシステムの高性能化」電学半電変研究会, SPC-04-29, 75-80, 2004