

電流制御ループの発振現象を利用した
静止時におけるセンサレスPMモータの磁極判別法

山田 和範* 野口 季彦 近藤 正示 高橋 勲
(長岡技術科学大学)

Magnetic Pole Identification Method Used Vibration Phenomena of Current Control Loops
for Sensorless PM Motor at Rest

Kazunori Yamada, Student Member, Toshihiko Noguchi, Member, Seiji Kondo, Member, Isao Takahashi, Member
(Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

従来、静止時におけるPMモータの磁極判別ではパイロット電圧を印加し、流れる電流の波高値を検出する手法が提案されている^{①-③}。しかしこの手法はN極とS極の差異を電流の波高値として検出するために定格以上の電流を流さなければならない。このため永久磁石の減磁が懸念される。また電流の波高値の差異は微小なアナログ量であるためノイズの混入に弱く、より確実な磁極判別法が必要と思われる。そこで筆者らは先に、電流制御ループの発振現象を利用した磁極判別法を提案した^④。本手法では電圧指令値における振動の数をカウントするため、従来法よりデジタル的な判別が可能である。また定格程度の電流で判別可能であるため、減磁は生じにくい。本稿では、磁極判別時の電流制御ループの発振現象を確実に発生させる条件について実機により確認したので報告する。

2. 磁極位置推定法

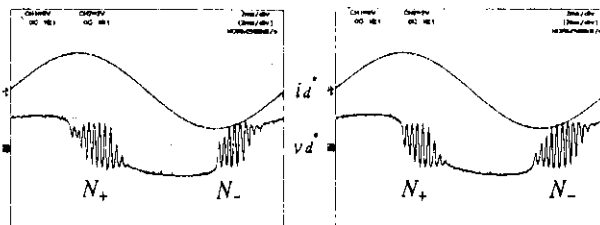
ここでは α - β 座標を固定子座標、また d - q 座標を磁極位置と一致した座標と定義する。次に図1の電流制御系を構成し、まず $\hat{\theta}=0$ として固定子座標上で交番磁界を発生させることにより、磁極方向を推定する^⑤。次に求めた磁極方向推定値 $\hat{\theta}$ を図1に適用し、 d 軸正方向と磁極方向を一致させて $i_d = I \cos 2\pi f t$, $i_q = 0$ なる電流を流す。ただし I は磁気飽和の影響が顕著に観測される大きさとする。このとき電流指令値のピーク近傍で図2に示すような電圧指令値の振動現象が見られる。この現象は、磁気飽和によりインダクタンスが時変係数となるため、電流制御ループのゲインに応じて電圧指令値が振動を起こしたものと考えられる。図2から d 軸正方向

向とN極が一致している場合は、電流指令値の正期間における振動の零クロス数 N_+ と、負期間における零クロス数 N_- の比 $K_z = N_+ / N_-$ は1より大きくなるのがわかる。逆にS極と一致している場合は、 K_z は1より小さくなる。このことを利用して機械角一周期にわたり磁極判別を行った結果を図3に示す。同図から一周期にわたりN極とS極の判別が可能であることがわかる。本手法では K_z が1より離れるほど、より確実な磁極判別が可能であることは明らかである。そこで電流制御系のゲイン、電流の周波数 f 、電流振幅 I のそれぞれを変えて実験を行い、磁極判別を確実に行うことができる条件について検討する。

3. 実験結果

3.1 P Iゲインを変えた場合

表1に供試機の定格値と機器定数を示す。ここでは図1のACRにPI制御器を用い、そのゲインを K_p , K_i とした。



(a) d 軸正方向とN極一致 (b) d 軸正方向とS極一致
 $i: 0.85[A/div], v: 76.8[V/div], t: 2[ms/div]$

図2 磁極判別時の電圧、電流波形
Fig.2. Voltage and current waveforms on magteic pole identification.

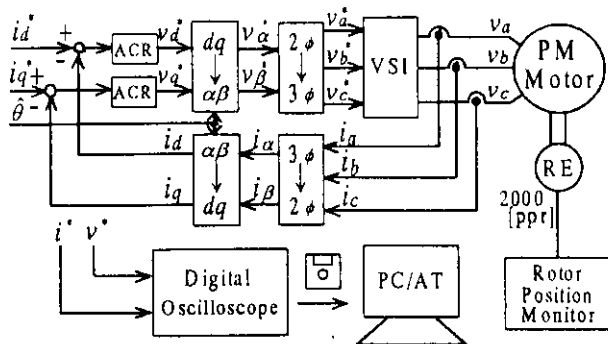


図1 実験システムの構成
Fig.1. Configurations of experimental system.

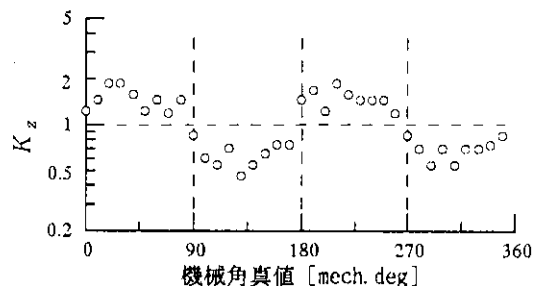


図3 磁極判別結果
Fig.3. Result of magnetic pole identification.

図4は電流振幅を定格の100[%]、周波数を50[Hz]としてPIゲインを変えた場合の実験結果である。ただし図2、図3の実験結果で用いたPIゲインを100[%]とした。また振動現象の再現性を確認するために、同一条件で4回ずつ測定を行った。PIゲインを大きくするにしたがい零クロス数は増大するが、 K_z はほとんど変化しない。逆にPIゲインを小さくすると零クロス数が減少するため、一時的に K_z が大きくなるが、更にゲインを小さくすると1になる。

ここでは、インバータVSIのゲイン(指令値に対する実際値の比)は約38である。その結果この供試機を用いた場合には電流制御の前向きゲインは2000[V/A]以上に設定する必要がある。

〈3・2〉 電流の周波数を変えた場合

図5に電流の周波数 f を10~100[Hz]まで変えた場合の実験結果を示す。周波数を下げると零クロス数が急激に増大する。これは、電圧指令値の振動現象の周期が一定であるため、電流指令値一周周期に含まれる振動の数が増大したためである。逆に周波数を上げると等価的にIゲインが低下するため零クロス数が減少する。その結果 K_z にバラツキが現れ、振動現象にも再現性がなくなる。

この供試機の場合は、振動の数を増加させて確実に判別を行うためには周波数を10~70[Hz]に設定する必要がある。

〈3・3〉 電流振幅を変えた場合

最後に電流振幅 I を定格値の60~200[%]まで変えた場合の実験結果を図6に示す。電流振幅を小さくすると零クロス数が多くなる。しかし磁気飽和が生じにくくなるため、N極とS極の差異が現れにくくなり K_z が1に近づく。逆に電流振幅を大きくすると零クロス数は減少するが、磁気飽和が顕著となるため K_z が1から大きくなる。

このように電流を定格値以上流せばより確実に磁極判別が可能であるが、永久磁石の減磁が懸念される。そのためこの供試機では定格 $I=1.21$ [A]前後の値が妥当であると思われる。

4. まとめ

本論文では電流制御ループの発振現象を利用した磁極判別法において、電圧指令値の振動現象を確実に発生させることのできる条件を実機において明らかにした。

文 献

- (1) Nobuyuki Matsui, Takaharu Takeshita: "A Novel Starting Method of Sensorless Salient-Pole Brushless Motor", *IEEE IAS Annual Meeting*, 386-392(1994)
- (2) M. Naidu, B. K. Bose: "Rotor Position Estimation Scheme of a Permanent Magnet Synchronous Machine for High Performance Variable Speed Drive", *IEEE IAS Annual Meeting*, 48-53(1992)
- (3) 山田和範, 野口季彦, 近藤正示, 高橋勲: 「電機子抵抗に不感なセンサレスPMモータの静止時磁極位置推定法」電学半電研, SPC-95-115, 11-18 (平7-12)

表1 供試機の定格値と機器定数
Table I. Rated values of tested motor.

定格出力	100 [W]	L_d	18.4 [mH]
定格回転数	1500 [rpm]	L_q	276.6 [mH]
定格電流	0.7 [A]	ψ	0.306 [Wb]
極数	4 [極]	J_m	0.004143 [kgm ²]
R_a	14.69 [Ω]	D_r	0.0001 [Nms / rad]

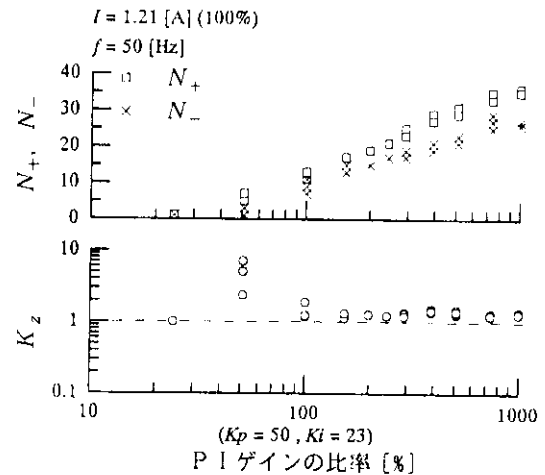


図4 PIゲインを変えた場合の K_z
Fig.4. K_z changed PI gain.

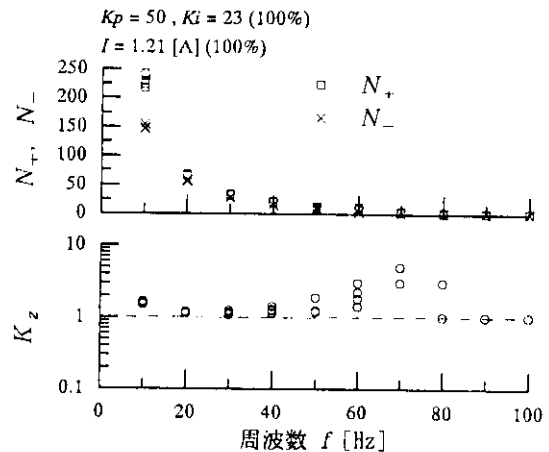


図5 電流の周波数を変えた場合の K_z
Fig.5. K_z changed current frequency.

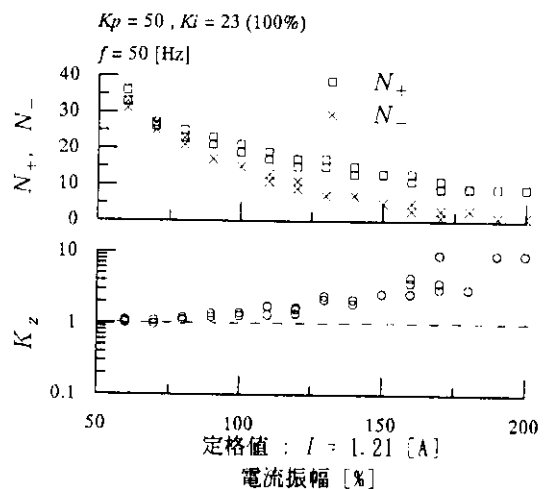


図6 電流振幅を変えた場合の K_z
Fig.6. K_z changed current amplitude.