

# 초기 상태에서의 매입형 영구자석 전동기 제정수 및 회전자 초기각 추정 기법

한용수, 신호준, 하정익  
서울대학교

## The Method of Estimating Parameters and the Initial Position of the Rotor in an Interior Permanent Magnet Synchronous Motor at a Null State

Yong Su Han, Ho Joon Shin, Jung-Ik Ha  
Seoul National University

### Abstract

본 논문에서는 매입형 영구자석 동기 전동기(IPM)의 회전자 초기각 및 전동기 제정수에 대한 정보가 전혀 없는 초기 상태에서 고주파 주입을 통한 제정수 추정기법을 제안한다. IPM의 경우 정확한 제정수 추정을 위해서는 회전자의 초기각에 대한 정보를 필요로 한다. 고주파 신호 주입에 의한 주입 센서리스 제어 방법을 적용하여 초기 제정수 추정과 동시에 초기각에 대한 정보를 얻고, 이를 바탕으로 제정수를 보다 정밀하게 추정하게 된다. 제안된 방식은 모든 IPM 모터에 적용가능하며, 제정수와 더불어 초기각의 위치도 얻을 수 있어 전동기 제어의 초기 설정에 용이하다. 모의실험을 통하여 제안된 기법의 타당성을 검증하였다

### 1. Introduction

높은 성능의 전동기 제어를 위해서는 전동기의 제정수 값을 필요로 한다. 본 논문에서 다룰 IPM 전동기의 경우, 전류제어기 설정을 위해 stator 저항( $R_s$ )과 d, q축의 인덕턴스 값( $L_d, L_q$ )을 필요로 하고, 속도제어기 설정을 위해, 전동기의 회전관성(J)와 영구자석의 계자 자속( $K_e$ ) 값을 필요로 한다. 또한 제어기의 안정적인 초기 구동을 위해서 회전자의 초기각 정보를 필요로 한다.

본 논문에서는 논문 [1]의 고주파 신호 주입에 의한 센서리스 제어 방법을 적용하여 위에서 제시한 5개의 제정수와 초기각 추정기법을 제안한다. 모의 실험을 통하여 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

### 2. Proposed Estimation Method

그림 1과 같은 고주파 주입 센서리스 알고리즘을 적용한다.[1] 센서리스 제어를 위해 주입되는 고주파를 이용하여 저항과 인덕턴스 값도 얻어낸다. 논문 [2]에서 제시된 것처럼 정상상태에서는 전압방정식 (1)의 미분 연산자  $d/dt$ 를  $j\omega_h$ 로 나타낼 수 있어, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. (여기서  $\omega_h \gg \omega_r$  이므로 역기전력 부분은 무시 할 수 있다.)

$$V_{ds}^r \approx R_s I_{ds}^r + \frac{dI_{ds}^r}{dt} L_d \quad (1)$$

$$V_{ds}^r \approx R_s I_{ds}^r + j\omega_h L_{ds}^r I_{ds}^r \quad (2)$$

식 (2)로부터 저항과 인덕턴스를 계산하는 과정은 그림 2와 같다. q축 저항과 인덕턴스는 역시 같은 방식으로 구해 질 수 있는데, 제시된 센서리스 알고리즘이 실제 q축을  $\hat{a}$ 축으로 추정하도록 하는 과정이 필요하다. 제시된 방법에서는 회전자 좌표계에서  $45^\circ$  틀어진 지점에서 d, q축 전류들을 비교하는 방식을 택하고 있어 'correction controller'의 부호를 변경시켜 q축을 추정하여 고주파를 삽입하는 것이 가능하며 이는 q축의 인덕턴스를 추정 할 수 있게 된다.

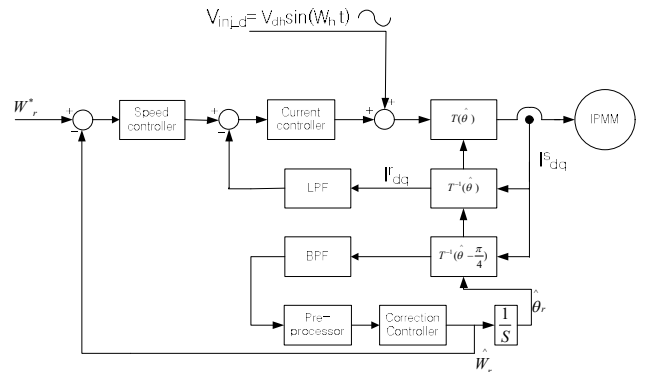
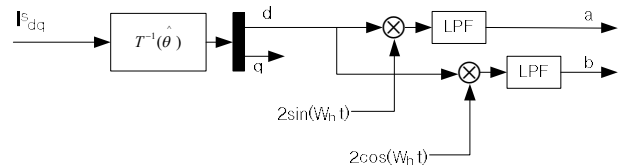


그림 1. 고주파 주입 센서리스 알고리즘 block diagram



$$R = \frac{a}{a^2 + b^2} V_{dh}, L = \frac{b}{a^2 + b^2} \frac{V_{dh}}{\omega_h}$$

그림 2. R, L 연산 방법

그림 3은 그림 1과 그림 2의 방식을 이용하여 제시된 제정수를 추정하는 전체 과정을 보여준다. 여기서 'Initial angle detection'은  $\hat{a}$ 축이 N극을 나타내는지 S극을 나타내는지 알아보기 위한 과정이다. 그림 1에서 주어진 방식은 임피던스의 차이에 의해 d축이 추정되므로 d축과 -d축은 같은 임피던스를 보이기 때문에 N과 S극을 구별하는 것이 불가능하다. 논문 [1]에서는 이에 대해 고주파 주입에 의한 전류의 2<sup>nd</sup> harmonics 성분의 분포로부터 얻는 방식을 제안한다.

Ke 와 J 값은 앞에서 구한 제정수 값과 초기각을 이용하여 전류제어를 통해 특정 속도까지 일정한 토크를 가해 식 (3)으로부터  $Ke/J$  를, zero-전류 제어를 통해 식 (4)를 추정 할 수 있다..

$$T_e \approx \frac{3}{2} \frac{pp}{2} K_e I_{qs}^r \approx J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (3)$$

$$\lambda_{dqs}^s = \frac{s}{s + W_{hpf}} \bullet \left( \frac{1}{s} (V_{dqs}^s - R_s I_{dqs}^s) \right) \quad (4)$$

$$Ke = \sqrt{\lambda_{ds}^s{}^2 + \lambda_{qs}^s{}^2}$$

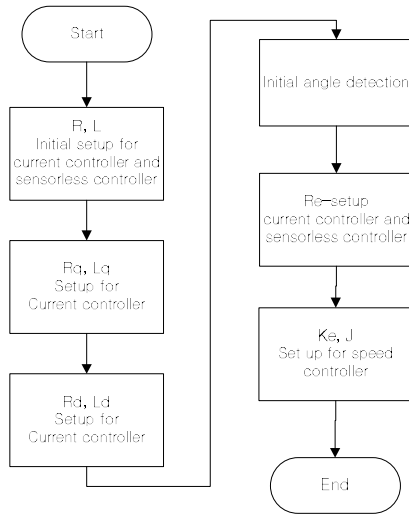


그림 3. 전체 순서도

### 3. Simulation

그림 4~6 은 모의 실험 결과이다. 전압 오차 와 전류 오차가 있는 경우도 실험해 보았다. 표 1은 각각의 경우에서 오차를 정리한 내용이다.

그림 3의 과정에서 ‘Initial angle detection’ 은 전동기의 비선형성 즉 인덕턴스의 saturation 효과를 이용해야 함으로 모의실험에서 제외 하였다. 초기 회전자 위치를 45° 로 설정하여 항상 N극, 즉 +d축을 추정하게 하였다.

### 4. Conclusion

본 논문에서는 임의의 IPM 전동기의 제정수 및 초기각을 고주파 주입 센서리스 방식을 적용하여 추정하는 방식을 제안하였다. 제안된 방법은 sensorless 제어와 sensorless 제어의 초기 설정에 모두에 적용하는 것이 가능하며 sensorless 제어에 적용된 경우 한가지의 고주파를 이용하여 초기각 추정, 제정수 추정 및 벡터제어를 위한 전동기의 속도 및 위치 추정까지 실행할 수 있어 높은 성능의 속도제어를 가능하게 한다.

### Reference

- [1] J.I.Ha, K.Ide, T.Sawa, and S.K.Sul, “Sensorless rotor position estimation of an interior permanent-magnet motor from initial states,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.39, pp.761-767, May/June 2003.
- [2] F.Briz, M.W.Degner, J.M.Guerrero, A.B.Diez, “Temperature Estimation in Inverter-Fed Machines Using High-Frequency Carrier Signal Injection,” IEEE Trans. Ind. Applicat, vol.44, pp.799-808 MAY/JUNE 2008

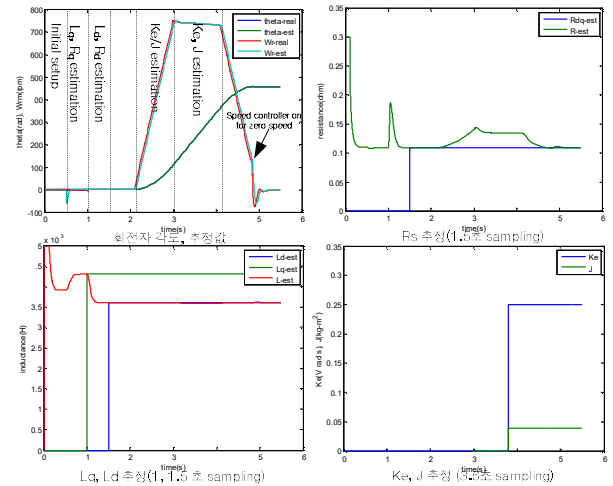


그림 4. 오차가 없는 경우

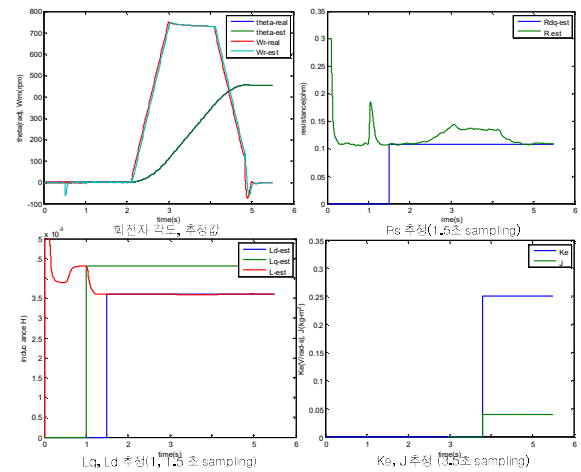


그림 5. 3상 전압에 White noise 적용한 경우

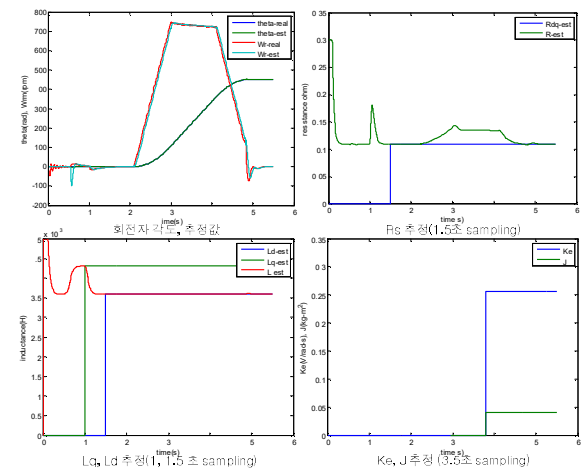


그림 6. 3상 전압에 offset(+5V) 적용한 경우

	R[Ω]	Ld[mH]	Lq[mH]	Ke[V/rad s]	J[kgm <sup>2</sup> ]
Real value	0.109	3.6	4.3	0.2595	0.04
No error[%]	0.00	0.00	0.00	-8.35	-0.55
offset(+5V) [%]	0.00	0.00	0.00	-2.57	0.55
White noise[%]	-1.28	0.00	0.00	-8.35	-0.55

표 1. 그림4~6 제정수 측정 오차