

# IPMSM 센서리스 제어의 안정된 기동을 위한 간단한 초기회전자 추정기법

김건명\*, 박병건\*, 정인성\*\*, 현동석\*  
한양대 전기공학과, 한국 전자부품 연구원 지능메카 트로닉스

## Simple Initial Rotor Position Estimation for Stable Startup of IPMSM Sensorless Control

Gun Myoung Kim\*, Byoung Gun Park\*, In Soung Jung\*\*, Dong Seok Hyun\*

\* Department of Electrical Engineering, Hanyang University,

\*\* Korea Electronics Technology Institute

### ABSTRACT

이 논문은 역기전력을 기반으로 한 센서리스 제어 시에 향상된 초기기동 성능을 위한 간단한 초기 회전자 위치추정 방법을 제시하였다. 제시된 추정방법은 전동기가 정지상태에서 전류와 인덕턴스의 반비례관계를 이용하여 회전자의 돌극성에 의한 고정자 각 권선의 인덕턴스의 변화로 생기게 되는 전류의 대소관계를 비교하여 초기 회전자 위치를 추정한다. 이 초기 회전자 위치추정 방법은 역기전력을 기반으로 한 센서리스 제어와 함께 구현되기가 쉽고 성공적인 초기기동으로 역회전이나 기동에 실패하지 않게 하며, 기존의 다른 인덕턴스에 의한 전류포화를 이용한 방법에 비해 빠르고 쉽다는 것이 장점이다. 또 다른 장점으로 이 방법은 외부적인 장치가 필요가 없고 모터의 변수들에 영향을 받지 않는다. 실험으로서 제시한 초기 회전자 위치 추정의 방법을 증명하였다.

### 1. 서론

IPMSM의 특징 상 센서리스 컨트롤 시에 정지시의 초기회전자 위치정보가 필수적인데, 만약 초기 회전자의 위치가 정확하지 않다면 회전자가 기동에 실패하거나 역회전을 할 수 있는 가능성이 있다. 그러므로, 회전자의 위치를 알아내는 레졸버나 절대위치 엔코더를 사용하는데, 결과적으로 전동기의 가격상승의 주된 요인이 되며 기계적 강인성과 신뢰도를 하락시키게 된다. 따라서 위치센서는 안정성과 정확성을 요구하는 현장에서 쓰이며 보통은 낮은 가격대의 홀센서를 대체로 이용하고 있다. 따라서 본 논문은 센서리스 운용 시에 초기 추정부터 기동까지의 성능을 향상 시키는 초기 회전자 위치 추정 방법을 제안했다. 제안한 방법에서는 회전자의 돌극성으로 인해 발생하는 고정자 권선의 인덕턴스 변동을 전류와 인덕턴스 사이의 반비례 관계를 이용하여 전류의 대소 관계로서 회전자의 위치를 추정한다. 제안한 추정방법은 정지 상태에서부터 센서리스 운용 시에 기동에 실패하거나 역회전을 방지 할 수 있으며 빠르고 쉽게 초기 회전자의 위치를 찾아낼 수 있다. 제안한 초기 회전자 위치추정 방법을 실험으로서 증명하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 회전자 자석에 의한 인덕턴스 변화

IPMSM의 phase의 쇄교자속은 영구자석에 의한 회전자의 쇄교자속  $\lambda_r \Phi$ 과 고정자 전류에 의한 고정자 쇄교자속  $\lambda_s \Phi$ 의 합으로 나타낸다. IPMSM에서는 회전자의 돌극성 형태로 인한 불안정한 자속에 의해 회전자의 영구자석이 만들어내는 자속이 항상 일정한 것이 아니라 고정자 권선을 통과하면서 부분적으로 포화현상을 일으키게 되며 회전자 자석의 위치가  $\theta$ 에서  $\cos 2\theta$ 로 변동되는 특징을 보이게 된다. 아래에 주어지는 방정식을 이용하여 전동기의 고정자 권선에 특정한 공간전압벡터를 인가한 후에 상대적인 회전자 위치의 전압벡터를 인가한 후에 상대적인 회전자 위치의 정형적인 함수를 각 상 전류의 최대값으로부터 얻어 낼 수 있다.

$$I_U = I_0 + \Delta I_U = I_0 + \Delta I_U \cos 2\phi \quad (1)$$

$$I_V = I_0 + \Delta I_V = I_0 + \Delta I_V \cos(2\phi - \frac{2\pi}{3}) \quad (2)$$

$$I_W = I_0 + \Delta I_W = I_0 + \Delta I_W \cos(2\phi + \frac{2\pi}{3}) \quad (3)$$

$$I_{VW} = I_0 + \Delta I_U = I_0 + \Delta I_0 \cos(2\phi - \pi) \quad (4)$$

$$\Delta I_U = I_U - I_0, \Delta I_V = I_V - I_0, \Delta I_W = I_W - I_0 \quad (5)$$

$I_0$ 는 전류의 직류성분이고  $\Delta I_0$ 는 전류 리플의 진폭이다. 전류의 직류성분에 관한 방정식은 아래와 같다.

$$I_0 = \left(\frac{1}{3}\right)(I_U + I_V + I_W) \quad (6)$$

전동기의 고정자 권선에 3상 inverter의 공간 전압 벡터(SVPWM)를 인가한 후에 전류의 크기를 측정하여 상대적으로 가장 작은 값을 가지는 인덕턴스, 즉 전류의 크기가 가장 큰 방향을 d축 방향으로 추정하는 방법을 사용하게 된다. 이러한 인덕턴스의 포화현상으로 나타나는 전류의 대소(magnitude)로 회전자의 위치를 추정하는 방법들은 다음과 같은 논문에서 제시되었었다<sup>[1]</sup>. 하지만 모두가 Space Vector Pulse width Modulation(SVPWM)를 수 차례 인가하여 초기회전자의 위치 추정 오차 범위를 360°에서 180°, 180°에서 60°, 60°에서 30°등으로 가능범위를 좁히는데 그 목적이 있었다. 제시하는 논문의 방법은 공간전압벡터를 여러번 인가하여 초기회전자의 위치오

차를 줄여보려는 시도와는 달리, 정상상태의 IPMSM에 아래의 그림과 같이 120° 간격의 공간벡터전압 즉 (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1) (0,1,1)의 신호를 연속적으로 정확히 한번 만에 회전자의 위치를 판별 후 원하는 회전방향에 따라 신호를 가하여 기동시키는 심플하고도 신뢰성있는 IPMSM의 센서리스구동시의 초기 회전자 추정이 목적이다.

## 2.2 제안된 초기 회전자 위치추정방법

방정식 (1) (6)로부터 인가된 4개의 벡터 (V1,V3,V5,V4) 중에 만약 V1이 V4보다 크다면 회전자의 N극은 오른 반면에 있다는 뜻이며 따라서 회전자의 d축은 180° 반경 내인 90°와 270° 범위 안에 놓여있다는 것을 그림 1(a)에 나타내고 있다. 그리고 만약 전류의 크기의 결과가 V1 > V3 > V5이라면 V1이 가장 크기 때문에 회전자의 d축은 V1벡터를 중심으로 60° 안에 위치하게 되며 그것을 그림 1(b)에 나타내고 있다. 또 두 번째로 큰 전류의 크기가 V3벡터이므로 V1벡터를 중심의 60° 내의 범위 30° ~ 330°중에 V3벡터 쪽에 가까운 0°에서 30° 범위 안에 회전자의 d축이 위치하게 되며 그것을 그림 1(c)에 나타내고 있다. 마찬가지로의 접근 방법으로 만약 V1>V4이고 V1>V5>V3의 순서라면 회전자의 d축은 우반면 (270° ~ 90°)에 위치하고 범위는 330°에서 0° 내에 놓여 있게 되며 그림이 1(d)에 나타난다. 일단 다음과 같이 회전자의 위치를 알게 되면, 오퍼레이팅 하려는 회전자의 방향 즉 CW인지 CCW인지에 따라 공간 벡터 전압을 인가해주면 되는데 기동중의 역기전력은 무시한다고 가정할 때에 PMSM 전동기의 토크는 회전자의 q축 전류에 의해서만 발생되므로 회전자의 d축이 추정되고 나면 그에 따른 회전자의 q축에 공간 전압 벡터를 인가하여야 한다. 예를 들면, V1>V3>V5 순서대로 전류의 크기가 결정되었다면 회전자의 d축은 그림 1(c)의 범위 30°에 놓여 지게 된다. 이러한 상황에서 전동기의 회전방향을 CW로 운용하고 싶다면 공간 전압 벡터를 V2 V1 V6 V5 V4 V3의 순서대로 인가하면 되며 만약 전동기의 회전방향을 CCW로 운용하고 싶다면 전압벡터를 V3 V4 V5 V6 V1 V2의 순서대로 인가하면 된다.

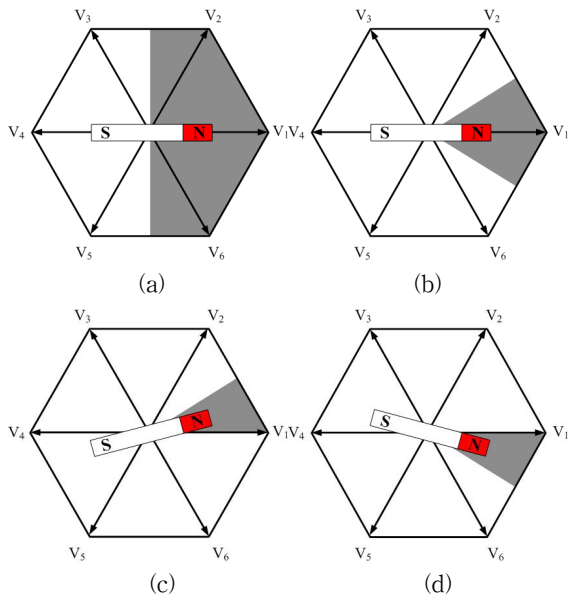


그림 1. 전류의 크기를 이용한 초기 회전자 추정범위

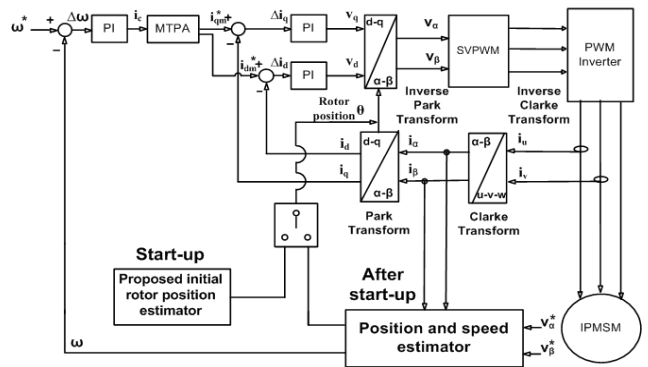


그림2. 제안된 센서리스 드라이버 시스템의 블럭 다이어그램

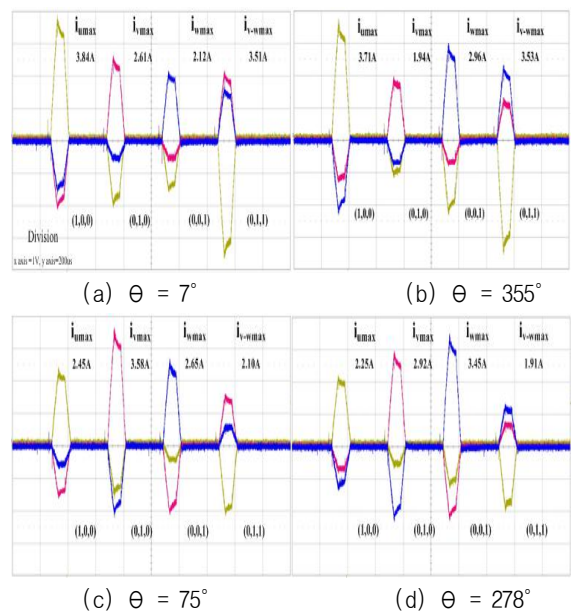


그림3. (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1) 과 (0,1,1)를 각각 30μs동안 인가하고 300μs의 인터벌을 주었을 때의 각 상 전류 파형

## 3. 결론

본 논문에서는 역기전력을 기반으로 하는 센서리스 제어시에 기동성을 향상시키기 위한 IPMSM 센서리스 제어의 안정된 기동을 위한 간단한 초기회전자 추정기법을 소개하였다. 이 기법은 전동기의 구동시에 역회전이나 기동실패를 없이 성공적인 기동을 도와주며 다른 기존의 기법들에 비하여 빠르고 구현이 쉽고, 무엇보다 외부장치를 필요로 하지 않으면서 모터의 파라메타에 영향을 받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 제시한 기법의 타당성은 실험을 통하여 입증하였으며 실험에서는 각 벡터의 신호를 30μs동안 인가하고 300μs의 인터벌을 주었다.

## 참고 문헌

[1] Lee, W. J., and Sul, S. K. "A New Starting Method of BLDC Motors Without Position Sensor", IEEE Trans. Ind. Appl, 2006, 42, pp. 1532-1538, 2006.