

# z신호를 갖는 증분형 엔코더 신호를 이용한 PMSM의 회전자 초기위치 추정 알고리즘

오현철\*, 김학원\*, 조관열\*, 송기영\*, 한병문\*\*  
 한국교통대학교\*, 명지대학교\*\*

## Initial Rotor position detecting algorithm of PMSM using incremental encoder with Z pulse.

Hyun Cheal Oh\*, Hag Wone Kim\*, Kwan Yuhl Cho\*, Ki Young Song\*, Byung Moon Han\*\*  
 Korea National University of Transportation\*, Myongji University\*\*

### ABSTRACT

This paper propose initial rotor position detecting algorithm of incremental encoder. The proposed algorithm estimates d axis initial position of PMSM using 6 step operation. The proposed algorithm is verified by experimentally.

### 1. 서론

PMSM을 운전하기 위해서는 회전자의 위치를 아는 것이 필수적이다. 일반적으로 PMSM 구동을 위해서는 절대적인 회전자 위치를 알 수 있는 위치 센서인 리졸버나 절대형 엔코더를 사용하는 것이 일반적이다. 최근 위치 센서의 재료비를 저감하기 위하여 증분형 엔코더를 PMSM에 적용하는 연구가 확대되고 있다. 증분형 엔코더의 경우, 회전자의 초기위치 추정이 반드시 필요하다<sup>[1],[2]</sup>. 만약 초기위치 추정이 잘못 되면 모터 기동이 불가능하거나, 기동이 되더라도 제어가 어렵고 효율이 매우 떨어지게 된다. 자극의 위치를 찾는 기존 방식으로는 전기적으로 90°의 위상차를 갖는 2개의 전류를 이용하는 방법<sup>[1]</sup>, q축을 기준으로 ±45°위치에서 발생하는 추력을 이용하는 방법<sup>[2]</sup> 등이 있다. 하지만 Z신호를 이용하여 초기 위치를 찾아내는 방식을 서술한 논문은 기록된 바 없다. 본 논문에서는 Z신호의 위치를 오차를 찾아내고, 절대 위치를 추종하는 방식을 제안하였다.

### 2. Z신호를 이용한 초기 자극 위치 추정

증분형 엔코더의 경우, 0°를 의미하는 Z신호를 가지고 있다. 일반적으로 증분형 엔코더의 Z신호를 회전자의 자극 위치와 PMSM 조립 시 일치시킨다. 그런데, 이 작업은 PMSM 조립 시 많은 공정 시간을 요구하고, 또한 공정 오차는 전동기의 구동 시 PMSM의 효율을 저감 시킨다. 본 논문에서는 증분형 엔코더와 회전자 조립 시 특정 위치에 일치시키는 공정을 제거하기 위하여 임의의 위치에 조립된 엔코더 Z신호를 이용하여 PMSM의 회전각을 찾아내는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 6 스텝 구동을 통하여 Z신호가 전기각과 틀어진 초기 각도를 찾는다. 추가적인 초기 각도 오차는 PMSM의 정,역 토크 운전을 통하여 속도 차이를 검출하여 정확한 위치 오차를 찾아내도록 한다.

### 2.1 일반적인 PMSM 구동

회전자 자석의 위치가 Z신호와 정렬되어있을 경우 Z=0°를 의미한다고 볼 수 있다. 하지만 엔코더의 신호는 부착 방식에 따라, Z신호의 위치가 전기적 0°에 일치 하지 않다. PMSM 구동 시 전기각은 그림 1과 같이 cos에 정렬하여 구동한다. 이때 a상 전류와 위치 정보의 관계는 식 (1)과 같다.

$$i_a^* = I^* \cos(\theta_{real}) \quad (1)$$

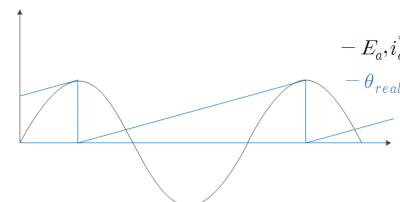


그림 1. 역기전력에 대한 전기적 위상  
 fig 1. Back EMF on the electrical phase

### 2.2 6-step을 이용한 초기 자극 위치 추정 이론

한편, 6스텝 구동을 이용하여 그림 2와 같은 방향으로 전류가 흐를 때 전기각은 0°에 정렬되고, 이 때의 엔코더 신호를 계측하여 엔코더 신호와 전기각 간의 차이를 계산한다.

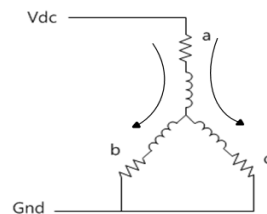


그림 2 6-스텝에서 위상이0°일 경우 전류 방향  
 fig 2 Current direction in 6step operation when phase is 0°

그림 2의 경우 회전자의 위치는 a상의 자속 방향과 일치되어 있기 때문에 d축에 정렬되어있다고 볼 수 있다. 전동기 구동 시에는 q축에 자속을 정렬하여 운전하기 때문에 식 (1)과 같은 전류로 운전하게 되지만, 그림 2의 6 스텝 운전의 경우 d축에

정렬되기 때문에 90° 위상 차이를 고려하여 식 (2)와 같은 방식으로 전류와 위상의 관계가 나타나게 된다.

$$i_a^* = I^* \sin(\theta_{real} + \frac{\pi}{2}) \quad (2)$$

식(1)은 위치 정보를 이용하여 q축으로 구동한 a상 전류이며, 식 (2)는 그림 2와 같은 스텝 운전 시 a상에 d축이 정렬시 위치 신호와 전류의 관계를 나타낸다. 만약 절대형 엔코더를 사용한 경우 아래의 식 (3)의 관계가 성립한다.

$$\hat{\theta} = \theta_{real} + \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

여기서,  $\hat{\theta}$ 는 그림 2와 같이 구동할 때 읽혀진 절대형 엔코더의 위치 정보이며,  $\theta_{real}$ 는 그림 1과 같이 구동할 때 절대형 엔코더의 위치 정보이다. 이제 엔코더의 절대 위치 정보를 나타내는 z신호가 회전자의 자극 위치와 특정각도  $\theta_{offset}$  만큼 위치 오차를 갖는 경우를 가정한다. 그러면 증분형 엔코더로부터 읽혀진 각도는 아래의 식 (4)와 같다.

$$\hat{\theta} = \theta_{real} + \frac{\pi}{2} + \theta_{offset} \quad (4)$$

그러므로, 회전자의 절대 위치  $\theta_{real}$ 는 아래의 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\theta_{real} = \hat{\theta} - \theta_{offset} - \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

Z신호와 전기적 위상의 크기는 그림 3 과 같이 offset을 갖는다. 이 때 offset의 크기는 실제 위치와의 차이를 식 (3)과 같이 계산 하여 구할 수 있다

그림 2와 같은 형태로 전류 인가시 절대 위치  $\theta_{real}$ 는 0°가 되기 때문에 이를 이용하여 식 (5)을 위치 오차에 대한 식으로 다시 정리 할 수 있다.

$$\theta_{offset} = \hat{\theta} - \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

### 3. 실험 결과

앞에서 구한 이론에 의하여 증분형 엔코더의 z축이 회전자 자극 위치와 틀어진 위치를 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 그림 3은 실험 결과를 나타낸다.

그림 3에서의 계측된 위상은 120°이다. 식(6)에 의해 계측된 위상을 이용하여 Z신호와 회전자 초기위치의 오차를 30°라 할 수 있다. 계측된 위상을 식(3)으로 계산하여 제어시 필요한 실제 위치를 계산 할 수 있다.

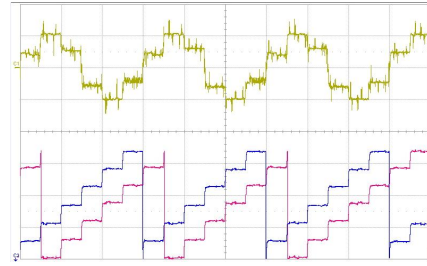


그림 3 계측된 위치와 a상 전류 위상 비교  
fig 3 Position and a-phase current phase comparison

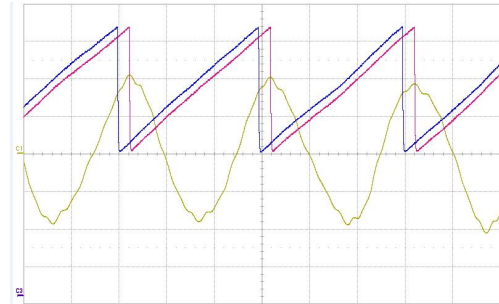


그림 4 계측된 위치와 역기전력 위상비교  
fig 4 Position and back-EMF phase comparison

제안된 방식에 의해 위치 정보의 정확도를 확인하기 위하여, 본 논문에서 제안된 방식에 의한 위치 정보의 보정된 값과 역기전력을 비교하는 실험을 실시하였다. 그림 4는 증분형 엔코더의 입력받은 위치정보  $\hat{\theta}$ 과 본 논문에서 제안된 보정 방법을 이용한 보정된 위치 정보  $\theta_{real}$ 를 역기전력 파형과 비교하였다. 제안된 방식에 의해 계산된 위치 정보는 역기전력 신호와 약 2°로 미세한 오차범위 내로 측정이 가능함을 증명하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 Z신호를 이용한 PMSM의 초기 자극 위치 추정하는 방법으로 Z신호가 기계적으로 0°가 아닐 경우, 엔코더 센서와 회전자 위치의 오차 각도를 찾아낼 수 있고, 정역 토크 제어를 통한 속도를 계측함으로써, 정밀한 부분까지 위치 계측의 오차를 줄일 수 있음을 실험을 통하여 검증하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.2011H100100110)

### 참고 문헌

- [1] T. W. Kim, J. Watanabe, S. Sonoda, and J. Hirai, "Initial Pole Position Estimation of Surface PM LSM", Journal of Power Electronics, Vol. 1, No. 1, pp.1 8, 2001, April.
- [2] Choi J. W., Yun W. E. and Kim H. G., "Initial pole position estimation of linear motor", IEE Proceedings of Electric Power Applications, Vol. 152, No. 4, pp. 997 1002, 2005, July.