

압축기 구동용 센서리스 제어 영구자석 동기전동기 구동장치에서의 기동 성능 비교

김근영*, 이광운*, 신덕식**, 이상택**, 김대경**

*목포해양대학교, **전자부품연구원

Comparison of Starting Performance in a Sensorless-Controlled PMSM Drive for Driving Compressor

Guen-Yeong Kim*, Kwang-Woon Lee*, Duck-Sik Shin**, Sang-Tack Lee**, Dae-Kyeong Kim**

* Mokpo National Maritime University, ** Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 압축기 구동용 센서리스 제어 영구자석 동기전동기 구동장치에서 일반적으로 사용되는 동기가속 기동 방식의 문제점을 살펴보고, 부드럽게 영구자석 동기전동기를 기동할 수 있는 방법에 대해 소개한다.

1. 서론

근래 압축기 구동용 전동기로서 고효율의 영구자석 동기전동기가 널리 사용되고 있다. 압축기의 구조적인 특징으로 인해 압축기 구동용 영구자석 동기전동기는 위치센서 없이 제어하는 센서리스 제어 방식으로 구동되며, 센서리스 제어 알고리즘으로는 역기전력 기반의 위치 추정 알고리즘이 일반적으로 사용되고 있다. 영구자석 동기전동기가 정지 또는 저속 상태에서는 역기전력을 검출할 수 없기 때문에, 압축기 구동용 영구자석 동기전동기를 기동하기 위해서는 강제 정렬을 통해 초기 자극 위치를 특정 방향으로 설정하고 동기가속을 통해 회전자를 가속시켜 역기전력 검출이 원활한 속도에 도달한 후 센서리스 제어 모드로 전환하는 기동 방식이 일반적으로 사용되고 있다.^[1]

일반적으로 압축기의 경우 회전체의 관성이 적고, 압축기의 기동 부하를 결정짓는 차압 조건이 주변 환경에 따라 변화하기 때문에 동기 가속 방식의 기동에서는 적절한 기동 성능 확보를 위한 동기 가속 패턴을 구하는 데 많은 어려움이 따른다. 또한, 동기 가속 패턴이 확정된 경우에도 압축기 차압 조건이 변화하면 기동 실패가 발생할 우려가 크다. 본 논문에서는 압축기 구동용 영구자석 동기전동기 센서리스 구동장치에 있어서, 동기 가속 제어모드를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우에 대해서 실험을 통해 기동 특성을 평가하고, 압축기 구동에 적합한 기동 방식을 제안하고자 한다.

2. 영구자석 동기전동기의 센서리스 제어^[2]

본 논문에서는 압축기 구동용 영구자석 동기전동기의 센서리스 제어를 위해 확장 유기전력 기반의 센서리스 위치 추정 알고리즘을 사용하였다. 가상 좌표계에서 확장 유기전력 기반의 영구자석 동기전동기 전압 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_d & -\omega_e L_q \\ \omega_e L_q & R_s + pL_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} \quad (1)$$

그림 1에 나타난 바와 같이 인버터의 지령 전압, 상 전류 및 영구자석 동기전동기의 제정수 값을 이용하여 확장 유기전력을 추정할 수 있고, 추정된 확장 유기전력으로부터 위치 추정 오차는 다음과 같이 구해진다.

$$\theta_e = \tan^{-1} \left(-\frac{e_y}{e_x} \right) \quad (2)$$

식 (2)의 위치 추정 오차로부터 영구자석 동기전동기의 회전자 위치와 속도는 그림 2와 같이 PI 제어기를 이용하여 추정할 수 있다.

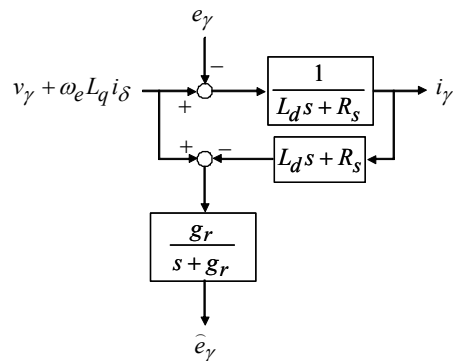


그림 1 확장 유기전력의 추정^[2]
Fig. 1 Estimation of extended emf

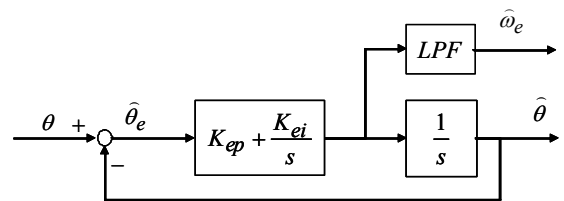


그림 2 회전자 위치 및 속도의 추정^[2]
Fig. 2 Estimation of rotor position and speed

3. 압축기 구동 영구자석 동기전동기의 기동

압축기 구동용 영구자석 동기전동기 센서리스 제어 구동장치에서 기동 방식은 압축기 회전체와 부하의 관성에 의해 결정된다. 에어컨에 사용되는 대용량 로터리 압축기와 같이 관성이 큰 시스템에서 일반적으로 사용되는 기동 방식은 강제 정렬, 동기 가속, 센서리스 전환 단계로 구성된다. 강제 정렬은 d축 전류를 공급하여 회전자 자극을 특정 방향으로 정렬시키는 과

정이고, 동기 가속은 고정자에 공급되는 전류의 크기 및 위상 각을 적절히 조절하여 역기전력 검출이 원활한 속도까지 회전자를 가속하는 과정이다. 일반적으로 동기 가속 모드에서 센서리스 제어 모드로 전환되는 과정에서 그림 3과 같은 토크 맥동이 발생하고, 결과적으로 기동 특성에 나쁜 영향을 미친다.

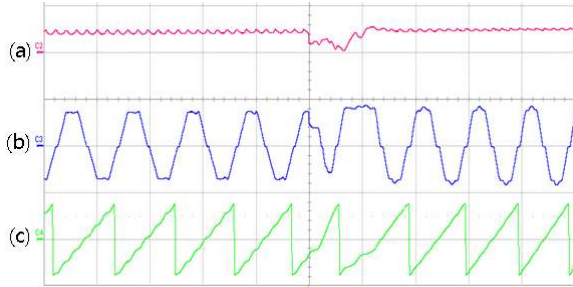


그림 3 동기 가속에서 센서리스 모드로의 전환
(a)추정 토크(5Nm/div.), (b)상전류(10A/div.), (c) 추정 각

Fig. 3 Transition from acceleration to sensorless mode

그림 3과 같은 특성은 센서리스 모드로 전환되는 과정에서 상전류 지령과 제어에 사용되는 회전자 위치 정보를 급격하게 변경하기 때문에 발생하며, 이러한 문제점은 상전류 지령과 회전자 위치 정보를 다음 수식과 같이 함으로써 보완할 수 있다.

$$\theta_e = k_1 \theta_{acc} + k_2 \hat{\theta}_e \quad (3)$$

$$\Delta\theta = \theta_e - \hat{\theta}_e \quad (4)$$

$$i_d^* = i_s^* \cos\Delta\theta, i_q^* = i_s^* \sin\Delta\theta \quad (5)$$

상기 식에서 $\theta_e, \theta_{acc}, \hat{\theta}_e$ 는 각각 전환 구간, 동기가속 구간 및 센서리스 추정된 회전자 위치이다. k_1, k_2 는 가중 함수의 결과로, k_1 은 1에서 0으로 감소하고, k_2 는 0에서 1로 증가한다. 그림 4는 상기 식들을 이용하여 센서리스 제어모드로 전환되는 실험 결과로, 그림 3에 비해 부드럽게 전환됨을 알 수 있다.

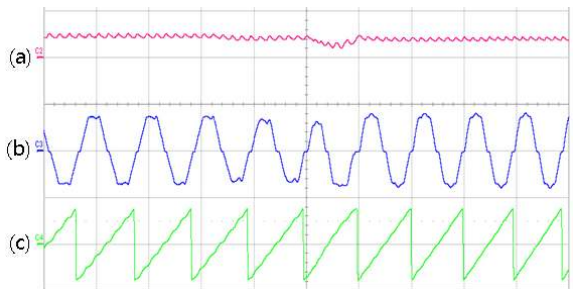


그림 4 동기 가속에서 센서리스 모드로의 전환
(a)추정 토크, (b)상전류, (c) 추정 각

Fig. 4 Transition from acceleration to sensorless mode

냉장고에 사용되는 왕복동 압축기와 같이 회전체의 관성이 작고 부하의 주기적인 변동이 큰 경우에는 동기 가속 모드를 사용하여 원만한 기동 특성을 얻는 데 어려움이 따른다. 부드러운 기동을 위해서는 압축기의 초기 부하 조건에 맞는 적절한 동기 가속 패턴을 사용해야 한다. 부하에 비해 상대적으로 너무 큰(또는 작은) 전류를 인가하거나, 부하의 동적 응답 특성에 맞지 않는 속도로 동기 가속을 수행하는 경우 오히려 회전 방향과 반대되는 토크(또는 부족한 토크)를 유발하여 압축기에 진동을 발생시키고, 기동 실패를 유발한다. 냉장고용 왕복동 압

축기와 유사한 기동 부하 특성을 갖는 시스템에서는 강제 정렬 이후 바로 센서리스 제어 모드로 진입하는 기동 방식을 사용하여 원활한 기동 특성을 확보할 수 있다. 그림 5는 냉장고용 왕복동 압축기에서 동기 가속 없이 바로 센서리스 제어 모드로 전환하는 경우의 기동 실험 과정으로 압축기의 초기 부하 조건에 관계없이 비교적 원만한 기동 성능을 보였다. 특히, 압축기의 흡입부와 토출부 압력이 평형이 되지 않은 상태에서도 부드러운 기동 성능을 보임을 실험을 통해 확인하였다. 동기가속 제어모드를 사용하지 않기 때문에 강제 정렬 이후 센서리스 제어 모드로 진입하는 초기 과정에서 속도 제어기의 적분 값을 강제 정렬 전류 지령과 일치시켜 q 축 전류를 직접 제어하도록 하였다.

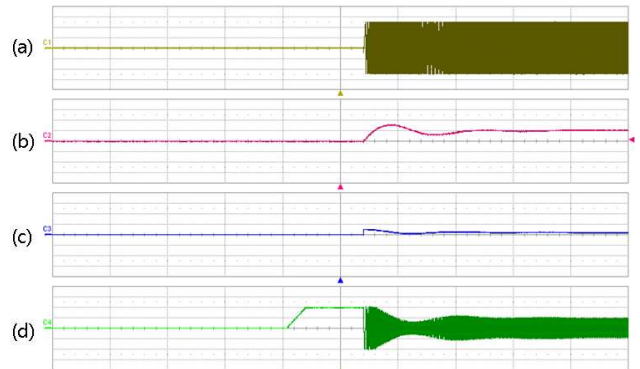


그림 5 가속모드 사용하지 않을 때의 실험 결과(1초/div.)
(a)회전자 추정각, (b)추정 속도, (c) 전류지령 (2A/div.), (d) 상전류(0.5A/div.)

Fig. 5 Experimental results without acceleration mode

4. 결론

압축기 구동용 영구자석 동기전동기의 경우 회전체와 초기 기동 부하의 관성 특성에 따라 기동 방식이 결정되어야 한다. 관성이 큰 시스템에서는 동기 가속 방식의 기동 방식이 필요하며, 센서리스 모드로 전환되는 과정에서 토크 맥동 및 회전자 위치 추정 특성을 개선하기 위해서는 적절한 전환 알고리즘이 필요하다. 반면에 관성이 작고, 주기적인 부하 변동이 큰 시스템에서는 강제 정렬 이후 바로 센서리스 모드로 전환하는 기동 방식이 유리하다. 본 논문에서는 압축기의 특성에 적합한 영구자석 동기전동기의 센서리스 기동 방식에 대해 살펴보았고, 실험을 통해 기동 특성을 평가하였다.

이 논문은 에너지 절감형 전력변환기 및 통합 제어 시스템 개발(과제번호 : 70005067) 과제에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] 이광운, 이준환, 최재영, "압축기용 BLDC 전동기의 센서리스 기동", 전력전자학회 논문제 11권 5호, pp. 440-446, 2006, Oct.
- [2] S. morimoto, K. Kawamoto, M. Sanada, and Y. Takeda, "Sensorless Control Strategy for Salient-Pole PMSM Based on Extended EMF in Rotating Reference Frame", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 38, no. 4, pp. 1054-1061, 2002, Jul./Aug.