

냉장고 압축기용 영구자석 동기전동기의 운전영역에 따른 하이브리드 제어 방식에 관한 연구

차대석^{*,***}, 김대경^{*}, 이상택^{*}, 신덕식^{*}, 이광운^{**}, 임영철^{***}
전자부품연구원^{*}, 목포해양대학교^{**}, 전남대학교^{***}

A Study on the hybrid control method according to operation range of Permanent magnet synchronous motor in Compressor

Dae-Seak Cha^{*,***}, Dae-Kyong Kim^{*}, Sang-Taek Lee^{*}, Duck-Shick Shin^{*}, Kwang-Woon Lee^{**}, Young-Cheol Lim^{***}
Korea Electronics Technology Institute^{*}, Mokpo National Marine Univ.^{**}, Chonnam National Univ.^{***}

ABSTRACT

본 논문은 압축기용 영구자석 동기전동기의 효율 개선을 위한 새로운 운전 제어 방법에 대해 제안한다. 일반적으로 냉장고 고용 압축기는 종래에 고정속도로 운전되는 유도기를 많이 적용해 왔으나 최근 고효율화, 고성능화의 요구증대로 영구자석 동기전동기를 적용하여 가변속 제어가 가능하도록 구성한다. 최근 냉장고의 경우 대용량화 고효율화의 요구로 인해 더 넓은 운전 범위 운전 특성이 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 본 논문에서 제안하는 제어 방법은 넓은 운전 제어 및 고효율 운전이 가능하도록 운전 속도에 따라 구형과 제어 및 정현과 제어가 전환이 되어 속도 및 부하조건에 따라 최적 제어가 이루어지는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근 가전제품의 에너지저감 및 저소음의 요구가 증대됨에 따라 냉장고, 세탁기, 에어컨 등에 가변속 전동기의 적용이 확대되어 지고 있다. 가변속 전동기 중에서 영구자석 전동기는 다른 종류의 모터에 비하여 효율이 높고, 저속의 경우 고 토크를 발생 시킬 수 있으므로 가변속 제어기에 많이 사용되어지고 있다.

영구자석 전동기는 회전자 영구자석 및 고정자의 형상 및 역기전력 파형에 따라 제어방식이 크게 구형과 제어와 정현과 제어로 나뉘며, 각 제어에 따른 구동방식에 따라 효율, 소음 등 운전 특성이 다르다. 구형과 제어의 경우에 2상 여자 스위칭에 따라 효율 특성은 우수하나 토크 리플 문제 등으로 소음 특성은 불리하다. 반면에 정현과 제어의 경우 약계자 운전에 의한 고속 운전이 가능하고 소음 특성은 우수하나 3상 여자에 따른 손실증대로 효율 특성면에서 불리하다.

본 논문에서는 냉장고 압축기용 영구자석 동기전동기를 제어함에 있어 운전범위에 따라 제어 방식이 전환이 되어 저속 운전모드에서의 최적 효율특성과 고속 운전모드에서의 고내력 특성이 만족되도록 제어동작을 구현하였다. 본 논문에서 제안한 제어방법은 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증하였고 제안한 방법의 유용성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 냉장고 압축기용 동기전동기의 운전특성

그림 1은 냉장고 압축기용 영구자석 전동기의 운전속도에 따른 제어기 및 모터의 효율곡선이다. 제어기의 경우 효율특성면에서 저속의 경우에 구형과 제어가 유리함을 볼 수 있으며, 고속의 경우 정현과 제어가 유리함을 확인할 수 있다. 또한 모터의 경우 PMSM 및 BLDC의 효율특성은 유사함을 볼 수 있다. 따라서 냉장고 압축기용 영구자석 동기전동기의 운전특성면에서 저속에서 구형과 제어방식을 적용하고 냉장고 시스템의 고내력 특성을 만족하기 위해 요구되는 고속운전 시 정현과 제어방식을 적용하면 고효율 운전특성을 얻을 수 있다.

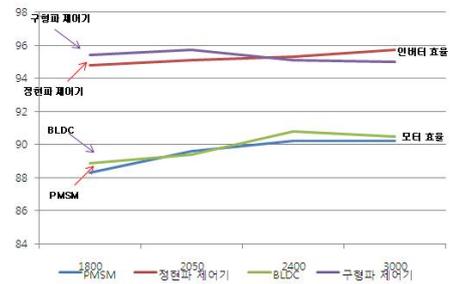


그림 1 모터 제어에 따른 효율 곡선
Fig. 1 Efficiency curve of the motor control

2.2 압축기용 센서리스 제어 방법 및 전환 알고리즘

냉장고 압축기용 영구자석 동기전동기는 압축, 흡입 과정에서 고온, 고압의 가스가 압축기 내부를 통과하기 때문에 압축기 내부에 회전자 위치 센서를 장착하기가 어렵다. 따라서 회전자 위치 판별이 필수적인 영구자석 동기전동기 제어에 있어서 센서리스 제어 방식의 적용은 필수적이다. 일반적으로 압축기 센서리스 제어 방식에 있어서 회전자 위치검출을 위해서는 회전자의 강제정렬 후 동기가속을 수행하고 센서리스 제어 방식으로 운전이 이루어진다.

본 논문에서 제안하는 방법은 강제정렬과 동기가속 후 저속 영역에서는 구형과 제어방식으로 운전되고 고속 영역에서는 정현과 제어방식으로 운전이 되도록 한다. 구형과와 정현과 제어가 전환되는 운전 점에서는 제어방식이 계속 바뀌는 문제를 해결하기 위해 히스테리시스 특성을 주어 전환 제어 방식을 수행한다. 그림 2는 제안된 압축기용 영구자석 동기전동기의 운전 속도에 따른 기동 순서도이다.

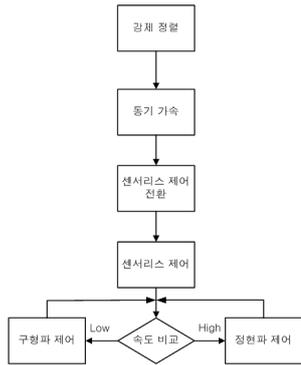


그림 2 제안된 센서리스 기동 운전 순서도
Fig. 2 The proposed sensorless start flowchart

2.3 회전자 위치정보

본 논문에서는 센서리스 제어 방식은 Nobuyuki Matsui가 제안하는 센서리스 위치 추정 방식을 사용하였다. 그림 3은 센서리스 위치 추종을 위한 제어 블록을 나타내며 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 속도 및 위치 값을 구할 수 있다.⁽¹⁾

$$\hat{e}_r = e_c^{n+1} = e_c^n + \Delta e_c \Delta T = e_c^n + \Delta e = e_c^n - K_e \Delta i \quad \text{식(1)}$$

$$\hat{\theta}_r = \theta_r^{n+1} = \hat{\theta}_r^n + \frac{e_c^{n+1}}{K_E} T + \Delta \theta T = \hat{\theta}_r^n + \frac{e_c^{n+1}}{K_E} T + K_\theta \Delta i_r^{n+1} \quad \text{식(2)}$$

$$\hat{\omega}_r = \hat{\theta}_r = \frac{\theta_r^{n+1} - \hat{\theta}_r^n}{T} = \frac{e_c^{n+1}}{K_E} + K_\theta \Delta i_r^n \quad \text{식(3)}$$

그림 4는 센서리스 제어를 위해 속도 관측기로부터 얻어진 전기각의 위치정보와 그에 따라 구형파 제어를 위해 필요한 스윙 패턴도이다.

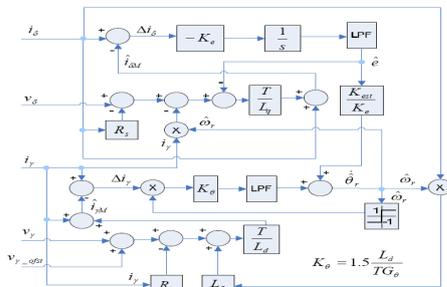


그림 3 센서리스 위치 추정
Fig. 3 Estimated position of sensorless

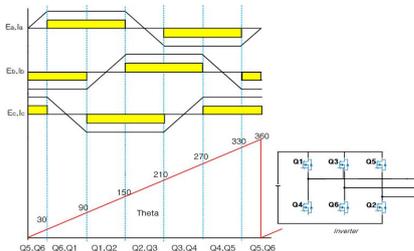


그림 4 전기각에 따른 구형파 제어
Fig. 4 Square-wave control according to Theta

2.4 시뮬레이션

제안된 알고리즘 검증을 위하여 PSIM 소프트웨어를 이용하였으며 시뮬레이션을 수행하였으며, 사용된 전동기의 파라미터 값은 표 1과 같다. 그림 5와 그림6은 저속 운전구간에서는

구형파 제어 모드로 구동하며 고속 운전구간 시에는 정현파 제어 모드로 전환되는 시뮬레이션 결과 파형이다. 각 구간별 모드에서는 히스테리시스 특성을 주었으며, 운전 전환구간은 저속에서 고속으로 전환 시 2000 rpm, 고속에서 저속으로 전환 시에는 1800 rpm을 기준으로 설정하였으며, 제안한 방법의 실효성을 확인하였다.

표 1 시뮬레이션 모터 파라미터

Table 1 Motor parameter of simulation

구분	내용
상 저항	824 [mΩ]
역기전력상수	24.8 [Vpk/krpm]
인덕턴스(Ld/Lq)	9.67/240 [mH]
극 수	4

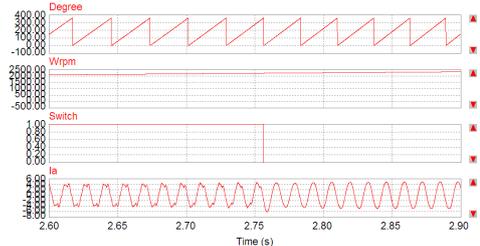


그림 5 구형파 제어에서 정현파 제어 전환 시뮬레이션 결과 (가속 시)

Fig. 5 Simulation result of exchanging waveform from square-wave to sinusoidal-wave (Acceleration)

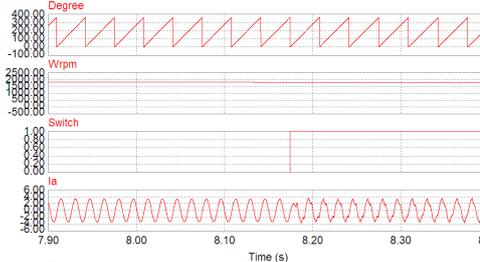


그림 6 정현파 제어에서 구형파 제어 전환 시뮬레이션 결과 (감속 시)

Fig. 6 Simulation result of exchanging waveform from sinusoidal-wave to square-wave (Deceleration)

3. 결론

본 논문에서는 냉장고 압축기용 전동기의 구간 별 운전 영역에 따라 저속 운전에서는 구형파 제어 방법으로 고속 운전에서는 정현파 제어 모드로 전환하는 알고리즘을 제안하였으며 제안한 알고리즘의 실효성을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 제안한 알고리즘을 통해 저속 및 고속운전 영역에서 고효율 운전 및 넓은 범위의 속도제어가 가능하게 한다.

참고 문헌

- [1] Nobuyuki Matsui, "Sensorless PM Brushless DC Motor Drives." IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL, 43, NO. 2, APRIL 1996
- [2] C.Spiteri, J.Cilia, B.Micallef and M.Apap, "Sensorless Vector Control of a Surface Mount PMSM using High Frequency Injection," IEEE Conference on Power Electronics, Machines and Drives, April 2002, PP.44-48.