

상용차를 위한 무시동 냉동기 압축기용 인버터의 센서리스 제어

한근우*, 수효동***, 정영국**, 임영철***, 김성곤*, 김영찬*

(재)전북자동차기술원*, 대불대학교**, 전남대학교***

Sensorless Control of Inverter for Anti-Start Refrigerator Compressor for Commercial Vehicle

Keun Woo Han*, Xiao Dong Qiu***, Young Gook Jung**, Young Cheol Lim***, Seong Gon Kim*, Young Chan Kim*

Jeonbuk Institute of Automotive Technology*, Daebul University**, Chonnam National University***

ABSTRACT

냉동차량은 이동 또는 정차 중에도 냉동 부하에 일정 온도를 유지 시켜야한다. 종전의 상용차량에 냉동시스템은 차량의 엔진과 연계하여 압축기를 구동하거나 엔진과 연계된 발전기의 전력을 이용하여 일정 온도를 유지하였다. 이러한 방식은 제어가 쉽지 않고 효율이 낮은 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하고자 냉동차량이 정차 중인 무시동 기관에서도 일정 온도를 유지 할 수 있도록 센서리스 제어방식이 적용된 3상 인버터를 제안하였다.

1. 서 론

냉동차량은 운반중이나 정차 중에도 운반품의 지속적인 특정온도를 유지하여야한다. 기존의 차량용 냉동시스템은 차량의 구동동력을 담당하는 엔진과 연계하여 압축기를 구동하거나 엔진과 연계된 발전기의 전력을 이용하여 압축기의 ON/OFF 제어를 수행하여 일정 저온을 지속적으로 유지하는데 있어 제어가 용이하지 않고 효율이 낮은 단점이 있다. 또한 냉동기 구동을 위한 연료소모와 차량엔진의 낮은 연소효율로 인한 연료의 과다 소비로 많은 에너지가 낭비되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 여러 가지 방법들이 제시되고 있다. 특히 냉동탑차 냉각기의 효율을 높이기 위해서, 압축기 구동을 인버터를 이용하여 효율 증가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인버터를 이용할 경우 기존 방식의 문제점으로 지적된 일정한 온도제어는 물론 사용자 의도에 따른 정밀한 온도제어가 가능하다. 종전의 인버터 구동 방식은 차량 내 추가적인 보조 발전기가 적용된 방식으로 냉동차량이 무시동 기간에도 냉장을 위하여 인버터에 전원을 공급하려면, 발전을 위한 별도의 화석연료가 필요하다는 문제점이 있다. 또한 냉동기 압축기로 사용되고 있는 영구자석 동기 전동기의 경우 인버터가 구동을 위해서는 회전자 위치 정보가 필수적으로 요구되는데, 위치 센서의 사용은 비용 상승 및 신뢰성 저하의 원인이 된다.

본 논문에서는 이러한 단점을 개선하고자 냉동차량이 정차중인 무시동 기관에 사용된 보조 발전기를 사용하는 대신 차량 내 대용량 배터리를 이용하여 정전압과 정전류를 인버터에 공급하도록 설계하였다. 또한 전체 시스템의 비용 절감과 신뢰성 확보를 위해 회전자 센서리스 제어방식이 적용된 3상 인버터를 제안하였다. 끝으로, 본 연구의 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 입증하고자 한다.

2. 냉동차량 인버터의 구성 및 제어

그림 1은 제안된 차량 냉동기용 인버터의 전반적인 블록을 나타낸다. 냉동차량이 주행 중에는 시스템에 장착된 엔진의 동력을 이용하여 엔진과 연계된 발전기를 구동하고, 발전기에서 발전된 3상 에너지를 인버터에 공급하는 구조이다. 그리고 정차 중인 무시동 구간에서는 냉동차량이 주행 중에 충전한 대용량 보조 배터리를 이용하여 인버터에 구동을 위한 전원을 공급한다.

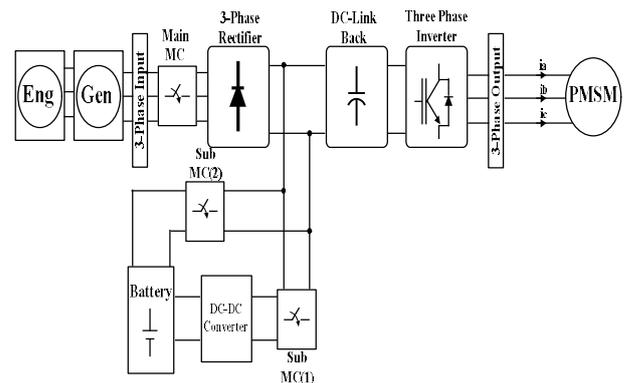


그림 1 전반적인 인버터 시스템 블록도
Fig. 1 Overall inverter system block diagram

3. 역기전력 기반 센서리스 제어

냉동차량 압축기 구동용 영구자석 동기전동기의 센서리스 제어를 위해 확장된 유기전력 기반의 센서리스 위치 추정알고리즘을 사용하였다. 확장 유기전력 기반의 영구

자석 동기전동기 전압 방정식은 식 (1)과 식(2)와 같이 표현된다.^[1]

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+pL_d & -\omega_r(L_d-L_q) \\ -\omega_r(L_d-L_q) & R+pL_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} + E_{ex} \begin{bmatrix} -\sin\theta_r \\ \cos\theta_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+pL_d-\omega_r L_q & \\ \omega_r L_q & R+pL_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + E_{ex} \begin{bmatrix} -\sin\Delta\theta \\ \cos\Delta\theta \end{bmatrix} + (\omega_r^{est} - \omega_r)L_d \begin{bmatrix} -i_\delta \\ i_\gamma \end{bmatrix} \quad (2)$$

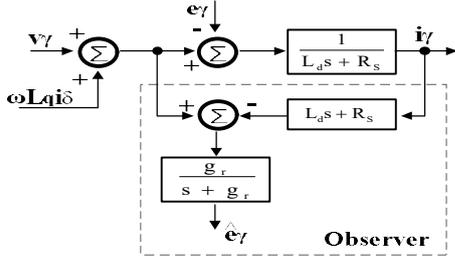


그림 2 확장된 유기전력 추정 블록선도
Fig. 2 Block diagram of the extended EMF estimation

도출된 식(1)과 식(2)를 제한된 전류를 통하여 추정 유기전력 성분 v_γ 와 v_δ 를 실제 유기전력 성분 v_α 와 v_β 사이의 오차를 제거 할 수 있다. 도출된 유기전력을 수식을 바탕으로 한 위치와 속도 추정 제어기는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

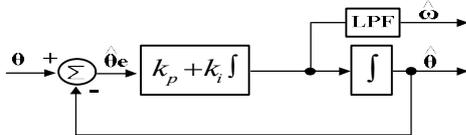


그림 3 회전자 위치와 속도 추정 블록선도
Fig. 3 Block diagram of position and speed estimation

4. 시뮬레이션 결과

제안된 무시동 냉동기 압축기용 인버터의 센서리스 제어기 성능을 확인하기 위해서 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 표 1의 조건으로 수행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameters

Parameters	Value
Phase resistor, R_s	0.42[Ω]
d axis inductance, L_{ds}	37[mH]
q axis inductance, L_{qs}	14[uF]
Back EMF constant	21.3[V _{pk} /krpm]
Pole	6

그림 4는 제안된 알고리즘에 의해 센서리스 제어를 행하였을 때 파형이다. 각 파형은 위상각과 각속도를 나타내며, 추정된 파형과 측정된 파형 조건을 나타낸다. 추정된

각속도와 추정된 회전자 위상 정보는 측정된 파형과 비교해 볼 때 양호함을 알 수 있다. 그림 5는 좌표 변환시 d q전류와 출력 상전류 표현을 나타내고 있다. 위치 센서가 제거된 상태에서도 안정된 전류가 발생되는 것을 볼 수 있다.

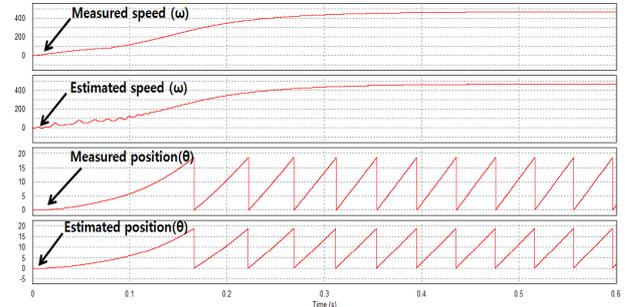


그림 4 추정된 각속도, 위상각과 측정된 각속도, 위상각
Fig. 4 Estimated speed, position and measured speed, position

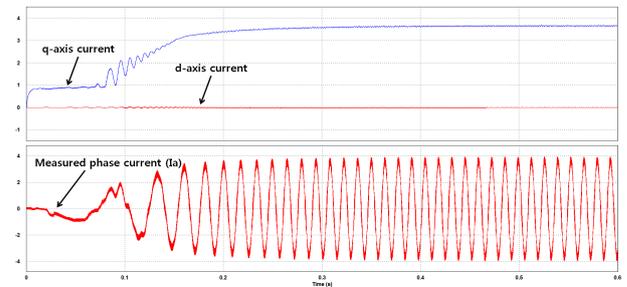


그림 5 d-q축 전류와 출력 상전류
Fig. 5 The d-q axis current and the output phase current

5. 결론

본 논문에서는 냉동차량이 정차중인 무시동 기관에도 일정 온도를 유지 할 수 있도록 센서리스 제어방식이 적용된 3상 인버터를 제안 하였다. 제안된 시스템은 입력 전동기 위치 센서가 제거된 형태로 역기전력 기반 센서리스 제어 알고리즘을 이용했다. 시뮬레이션 결과 회전자의 위치 및 속도 특성에 있어서도 우수한 특성을 확인할 수 있었다. 향후 제안된 방식을 바탕으로 실험을 통해 제시된 기법의 타당성을 검증할 것이다.

본 연구는 전남대학교 전기공학과 BK플러스사업으로 수행된 결과입니다.

참고 문헌

[1] Shigeo Morimoto, Keisuke Kawamoto, Masayuki Sanada, and Yoji Takeda, "Sensorless Control Strategy for Salient Pole PMSM Based on Extended EMF in Rotating Reference Frame," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 38, no.4, pp.1054-1061, July/Aug. 2002.