

단일 전류센서를 사용한 2상 유도전동기의 저가형 벡터제어 인버터

김동기, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

A Low-Cost Vector-Controlled Inverter of 2-Phase Induction Motor Using a Single Current Sensor

Dong Ki Kim, Duck Yong Yoon

Kongju National University

ABSTRACT

2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서는 a 상 및 b 상의 전류를 측정해야 하는데, 여기에는 홀전류센서가 주로 사용되었다. 2상 유도전동기는 a 상 및 b 상의 전류가 모두 중성선을 통하여 흐르게 되고, 이 전류로부터 2개의 상전류를 분리할 수 있다면 1개의 홀전류센서만을 사용함으로써 전류 측정 하드웨어의 가격을 반으로 줄일 수 있다. 본 논문에서는 1개의 전류센서를 사용하여 중성선 전류를 측정하고, 이로부터 a 상 및 b 상 전류를 추정하여 분리하는 방법을 제안하였으며, 이 방법의 유효성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

1. 서 론

오늘날 교류전동기 구동 시스템에서는 순시 토크제어가 가능한 벡터제어가 가장 널리 사용되고 있다. 여기에는 전동기로 입력되는 상전류를 측정하는 것이 필수적으로 요구되고 있으며, 2상 유도전동기(2PIM ; 2 Phase Induction Motor)용 인버터에서는 주로 a 상 및 b 상에 각각의 홀전류센서(Hall current sensor)를 사용하여 전동기의 입력 전류를 측정한다. 그러나, 본 논문에서 사용한 2PIM은 주로 소용량의 저전력 응용분야를 대상으로 연구가 진행되고 있으므로 이와 같이 2개의 홀전류센서를 사용하는 것은 시스템의 부피와 제작 원가를 증가시키는 원인이 되고 있다. 이러한 이유들로 인하여 소용량의 3상 유도전동기용 인버터에서는 가능한 저가의 방법으로 전동기로 입력되는 상전류를 측정하기 위한 수많은 연구가 진행되어 왔다^[1]. 그러나, 2PIM용 인버터에서는 아직 이에 대한 연구가 거의 없었으며, 최근에 들어 셉트저항을 사용하거나 1개의 전류센서를 사용하여 상전류를 복원하는 방법이 연구된 바 있다^{[2][3]}. 본 논문에서 사용한 2PIM은 a 상 및 b 상 전류가 모두 중성선(neutral line)을 통하여 흐르는데, 이 전류로부터 2개의 상전류를 분리할 수 있다면 1개의 홀전류센서만을 사용함으로써 전류 측정 하드웨어의 가격을 반으로 줄일 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 1개의 전류센서를 사용하여 중성선에 흐르는 전류를 측정하고, 이로부터 2개의 상전류를 추정하여 분리하는 방법을 제안한다. 이 방법은 1개의 전류센서만을 사용함으로써 전체 시스템의 가격을 낮출 수 있고, 2개의 홀전류센서를 사용하였을 경우에 발생하는 변환이득 오차에 의한 전동기의 토크 리플을 방지할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 방법을 360[W]급의 2PIM을 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터에 적용하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 유효성을 검증한다.

2. 단일 전류센서를 사용한 2상 벡터제어 인버터

2.1 중성선 전류측정에 의한 상전류 추정

2상 농형 유도전동기에서 고정자측으로 변환하여 표현된 정지 좌표계에서의 a , b 상 회전자 전압방정식은 식 (1)과 같다. 단, p 는 미분연산자로서 d/dt 이다.

$$\begin{aligned}v_{ar} &= R_r i_{ar} + \frac{d\lambda_{ar}}{dt} + \omega_r \lambda_{br} = 0 \\v_{br} &= R_r i_{br} + \frac{d\lambda_{br}}{dt} - \omega_r \lambda_{ar} = 0\end{aligned}\quad (1)$$

여기서, 회전자 쇄교자속은 전류와 인덕턴스로 표현할 수 있으며, 이로부터 회전자 전류는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}i_{ar} &= -\frac{L_m}{L_r} i_{as} + \frac{\lambda_{ar}}{L_r} \\i_{br} &= -\frac{L_m}{L_r} i_{bs} + \frac{\lambda_{br}}{L_r}\end{aligned}\quad (2)$$

유도전동기는 회전자가 각속도 ω_r 로 회전할 때, 동기 각속도 ω_e 와의 차에 해당하는 슬립 각속도 ω_{sl} 에 의해 회전자에는 전류가 흐르고 기자력이 발생된다. 이것으로부터 위에서 계산한 회전자 전류를 식 (1)에 대입하여 정리하면 회전자 전압방정식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 단, T_r 은 회전자 시정수로서 L_r/R_r 이다.

$$\begin{aligned}-\frac{L_m}{T_r} i_{as} + \frac{\lambda_{ar}}{T_r} + p\lambda_{ar} - \omega_{sl}\lambda_{br} &= 0 \\-\frac{L_m}{T_r} i_{bs} + \frac{\lambda_{br}}{T_r} + p\lambda_{br} + \omega_{sl}\lambda_{ar} &= 0\end{aligned}\quad (3)$$

여기서, 회전자 쇄교자속은 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 정상상태에서는 회전자 쇄교자속이 일정하게 되어 미분항은 0이 되고, 슬립 각속도와 회전자 쇄교자속은 d , q 축 기준전류로부터 식 (5)와 같은 관계를 갖게 된다.

$$\begin{aligned}\lambda_{ar} &= \lambda_r \cos \theta \\ \lambda_{br} &= \lambda_r \sin \theta\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}\omega_{sl} &= \frac{1}{T_r} \frac{i_{qs}^*}{i_{ds}^*} \\ \lambda_r &= L_m i_{ds}^*\end{aligned}\quad (5)$$

이상의 결과들을 식 (3)에 대입하여 정리하면 a 상 및 b 상 전류의 기준값은 식 (6)과 같이 정리할 수 있다. 이 관계식으로부터 d 축 기준전류를 일정하게 유지하는 경우에 a, b 상 기준전류는 q 축 기준전류에 의존한다는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} i_{as}^* &= i_{ds}^* \cos \theta - i_{qs}^* \sin \theta \\ i_{bs}^* &= i_{ds}^* \sin \theta + i_{qs}^* \cos \theta \end{aligned} \quad (6)$$

본 논문에서 사용한 2PIM은 a 상 및 b 상 전류가 모두 중성선을 통하여 흐르기 때문에 1개의 홀전류센서를 사용하여 중성선 전류를 측정하고, 위에서 계산한 a, b 상 기준전류로부터 다음과 같이 2개의 상전류를 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{i}_{as} &= i_n - i_{bs}^* \\ \hat{i}_{bs} &= i_n - i_{as}^* \end{aligned} \quad (7)$$

이것을 알고리즘 블록도로 나타내면 그림 1과 같다.

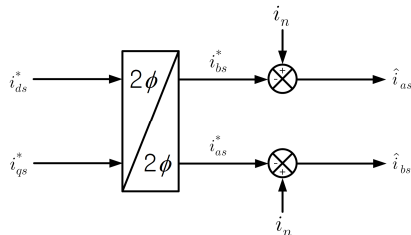


그림 1 a 상 및 b 상 전류 추정 알고리즘 블록도
Fig. 1 Block diagram of a and b -phase current estimation algorithm

2.2 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 구성

본 논문에서 사용한 360[W]급 2PIM을 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 구성은 그림 2와 같다. 여기에는 본 논문에서 제안한 방법으로 2개의 상전류를 추정하기 위하여 1개의 홀전류센서를 중성선에 위치시켰다.

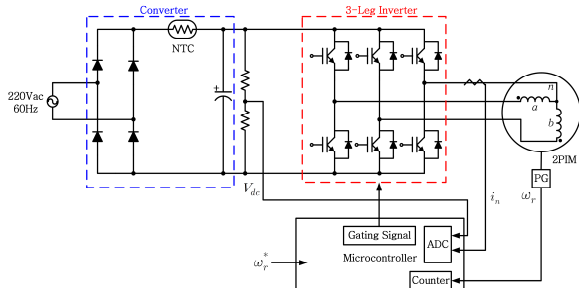


그림 2 단일 전류센서를 사용한 3레그형 2상 벡터제어 인버터
Fig. 2 Vector-controlled 2-phase inverter with 3-leg switches using a single current sensor

3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 방법의 유효성은 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어인 MATLAB/Simulink를 사용하여 확인하였다. 2PIM을 1/2부하 상태에서 기준속도를 +1200[rpm]으로 운전하고, 홀전류센서로 측정된 경우와 제안한 방법으로 추정한 경우의 a, b 상 전류 파형을 그림 3에 보였다. 주황색과 빨간색은 전류센서로부터 측정된 a, b 상 전류 파형이며, 초록색과 파란색은 제안한 방법으로 추정한 a, b 상 전류 파형이다. 시뮬레이션 결과로부터 2개의 전류 파형이 겹쳐서 보일 정도로 중성선 전류로부터 추정한 전류값이 상당히 정확하다는 것을 알 수 있다.

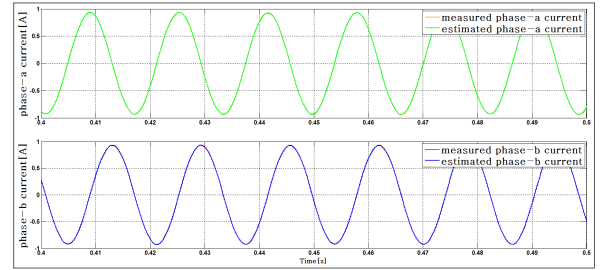


그림 3 측정된 전류와 추정한 전류의 비교
Fig. 3 Comparison of measured currents and estimated currents

3.2 실험 결과

그림 4는 추정한 a, b 상 전류를 적용하여 1/2부하 상태에서 기준속도를 +1200[rpm]으로 스텝 기동하고, 0.8[sec] 후에 이를 1200[rpm]으로 역회전시키며, 다시 0.8[sec] 후에 정지시킨 경우의 실험 결과 파형이다. 전동기의 회전속도가 기준속도를 잘 추종하여 제어되는 것을 볼 수 있다.

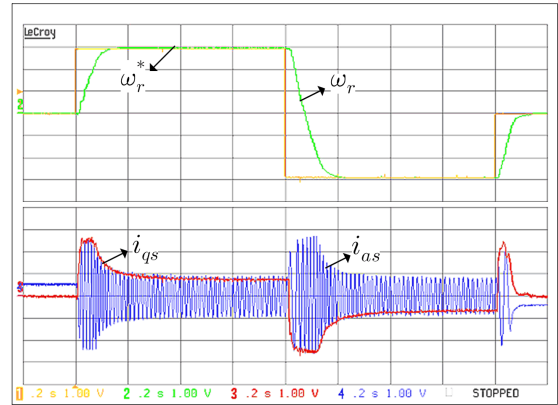


그림 4 속도응답 특성 실험 결과
Fig. 4 Experimental results of speed response characteristics

4. 결론

소용량의 저전력용 벡터제어 인버터에서 2개의 홀전류센서를 사용하여 상전류를 측정하는 것은 시스템의 부피와 원가를 증가시키는 원인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 2PIM의 중성선에 1개의 홀전류센서만을 사용하고, 이로부터 2개의 상전류를 추정하여 분리하는 방법을 제안하였으며, 이를 벡터제어에 적용하여 속도제어가 원활하게 수행되는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Verma V., Chakraborty C., Maiti S. and Hori Y., "Speed sensorless vector controlled induction motor drive using single current sensor", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 28, no. 4, pp. 938~950, Dec. 2013.
- [2] 김동기, 오광호, 윤덕용, "3개의 센트저항을 이용한 3레그형 2상 인버터의 상전류 복원 방법", 대한전기학회 EMECS 부문회 추계학술대회 논문집, pp. 204~206, 2014.
- [3] Younghoon Cho, Kwan Yuhl Cho, Hyungsoo Mok, Kyeong Hwa Kim, and Jih Sheng Lai, "Phase current reconstruction techniques for two phase inverters using a single current sensor", *Journal of Power Electronics*, vol. 11, no. 6, pp. 837~845, Nov. 2011.