

# 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서의 전류측정 오차 보상 기법

이호준, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

## The Compensation Method of Current Measurement Error for Vector-Controlled Inverter of 2-Phase Induction Motor

Ho Jun Lee, Duck Yong Yoon  
Kongju National University

### ABSTRACT

2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서는 전류센서를 사용하여  $a$ 상 및  $b$ 상의 전류를 측정해야 한다. 그러나, 이 전류값을 마이크로컨트롤러의 A/D컨버터로 읽어 들이는 과정에서 전류센서와 증폭회로부터 발생하는 오프셋 오차와 변환이득 오차를 포함할 수 있다. 2상 유도전동기의 벡터제어 시스템이 이러한 오차들을 포함한다면 전동기의 출력토크에 리플이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 전류측정 오차를 실시간으로 보상하여 전동기의 토크리플을 제거하는 방법을 제안하였으며, 이러한 방식을 360[W]급의 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션과 실험으로 유효성을 확인하였다.

### 1. 서 론

교류전동기의 벡터제어를 위해서는 순시 토크제어가 필요하며, 우수한 토크제어 성능을 얻기 위해서는 전동기로 입력되는 상전류를 정확하게 측정하는 것이 매우 중요하다. 대부분 전류센서의 아날로그 출력신호는 증폭회로에 의해 증폭되고, 이를 A/D 컨버터를 사용하여 디지털 값으로 변환하는 과정에서 오프셋 오차 또는 변환이득 오차를 포함할 수 있다. 3상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서는 이러한 오차가 포함된 전류를 사용하여 벡터제어를 수행하였을 경우에 토크리플을 제거하기 위한 여러 가지 방법이 제안되었다.<sup>[1]</sup> 그러나, 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서는 아직 이에 대한 연구가 거의 없었으며, 구동 방법 및 PWM 제어 기술이 주류를 이루고 있다. 따라서, 본 논문에서는 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서 전류측정 오차가 전동기에 미치는 영향을 수학적으로 해석하고, 이러한 오차들을 실시간으로 보상하는 방법을 제안한다.

### 2. 전류측정 오차의 영향 및 보상 방법

#### 2.1 오프셋 오차의 영향

전류센서에서 측정된 전류  $i'_{as}$ ,  $i'_{bs}$ 는 유도전동기에 흐르는 실제전류  $i_{as}$ ,  $i_{bs}$ 와 전류측정 과정에서 포함된 오프셋 전압에 의한 전류오차  $I_{as}$ ,  $I_{bs}$ 가 합해진 형태로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i'_{as} = i_{as} + I_{as}, \quad i'_{bs} = i_{bs} + I_{bs} \quad (1)$$

식 (1)을 2상 정좌좌표계와 동기 회전좌표계의 변환 관계식에 대입하면, 실제  $d$ ,  $q$ 축 전류는 다음과 같다.

$$i_{ds} = i'_{ds} - I_{as}\cos\theta - I_{bs}\sin\theta, \quad i_{qs} = i'_{qs} + I_{as}\sin\theta - I_{bs}\cos\theta \quad (2)$$

2상 유도전동기의 발생토크는 동기 회전좌표계로 변환된  $d$ ,  $q$ 축 전류로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T = \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} i_{ds} i_{qs} \quad (3)$$

그러나, 전류측정 오차를 포함하는 경우에는 토크가 식 (3)에 식 (2)를 적용하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} \left\{ i_{ds} i_{qs} - AB \sin(\theta + \Phi + \alpha) + A^2 \frac{\sin(2(\theta + \Phi))}{2} \right\} \\ &= \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} \left\{ i_{ds} i_{qs} + (i_{ds} i_{qs} - i_{ds} i_{qs}) - AB \sin(\theta + \Phi + \alpha) + A^2 \frac{\sin(2(\theta + \Phi))}{2} \right\} \\ &= T + T_{(-)} + T_{(-)} + T_{(=)} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 식 (4)와 같이 전류를 측정하는 과정에서 오프셋 오차가 포함되는 경우에 전동기 발생토크는 전류측정 오차가 없을 경우의 토크  $T$ 에 직류성분의 오차토크  $T_{(-)}$ , 리플이 포함된 오차토크  $T_{(-)}$  및  $T_{(=)}$ 가 합해진 형태로 표현된다.

#### 2.2 변환이득 오차의 영향

변환이득 오차를 포함하여 측정된 상전류  $i''_{as}$ ,  $i''_{bs}$ 를  $a$ 상 및  $b$ 상의 변환이득  $G_a$ ,  $G_b$ 와 실제전류  $i_{as}$ ,  $i_{bs}$ 에 관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$i''_{as} = G_a i_{as}, \quad i''_{bs} = G_b i_{bs} \quad (5)$$

위의 식 (5)를 실제  $d$ ,  $q$ 축 전류와 변환이득에 의한 전류오차가 포함된  $d$ ,  $q$ 축 전류의 관계식으로 표현하면 다음과 같다.

$$i_{ds} = \frac{i''_{ds}}{G_a} + \left(1 - \frac{G_b}{G_a}\right) i_{bs} \sin\theta, \quad i_{qs} = \frac{i''_{qs}}{G_a} + \left(1 - \frac{G_b}{G_a}\right) i_{bs} \cos\theta \quad (6)$$

변환이득 오차를 포함하는 경우에는 식 (3)에 식 (6)을 적용하여 토크 식이 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T' = \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} \left[ \frac{i''_{ds}}{G_a} + \left(1 - \frac{G_b}{G_a}\right) i_{bs} \sin\theta \right] \left[ \frac{i''_{qs}}{G_a} + \left(1 - \frac{G_b}{G_a}\right) i_{bs} \cos\theta \right] \quad (7)$$

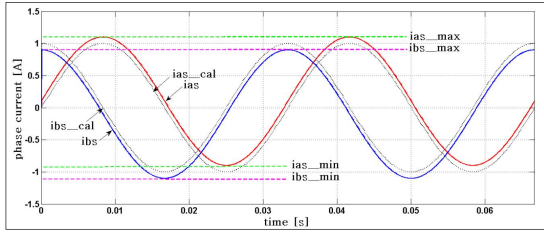
위의 식 (7)에서 변환이득  $G_a$ 와  $G_b$ 가 서로 같지 않으면, 전동기에는 토크리플이 발생된다. 그러나, 변환이득  $G_a$ 와  $G_b$ 를 서로 같아지도록 제어할 수 있다면, 전동기의 토크리플 성분을 제거할 수 있다.<sup>[2]</sup>

이것을 관계식으로 표현하면 식 (8)과 같다.

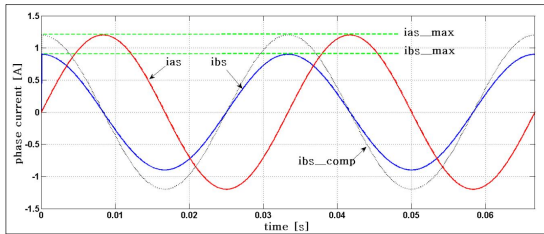
$$T'' = \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} \frac{i_{ds}'' i_{qs}''}{G_a^2} \quad (8)$$

### 2.3 전류측정 오차의 보상 방법

그림 1은 오프셋 오차 및 변환이득 오차가 포함된 경우의 전류 파형과 본 논문에서 제안한 방법으로 이러한 오차들을 보정한 경우의 전류 파형을 나타낸다.



(a) 오프셋 오차를 포함한 경우



(b) 변환이득 오차를 포함한 경우

그림 1 전류센서에 의해 측정된 파형 분석

Fig. 1 Analysis of measured waveforms by current sensor

오프셋 오차를 보상하는 방법은  $a$ 상 및  $b$ 상 전류의 최대값 및 최소값을 그림 1 (a)와 같이 측정하고, 이로부터 식 (9)와 같이 오프셋 오차를 계산할 수 있다.

$$i_{as\_offset} = (i_{as\_max} + i_{as\_min})/2 \quad (9)$$

$$i_{bs\_offset} = (i_{bs\_max} + i_{bs\_min})/2$$

변환이득 오차를 보상하는 방법은  $a$ 상 및  $b$ 상 전류의 최대값을 그림 1 (b)와 같이 측정하고, 이로부터 식 (10)과 같이  $b$ 상 전류의 변환이득을  $a$ 상 전류의 변환이득과 같아지도록 하는 이득 비를 계산하여, 이를 식 (11)과 같이 측정된  $b$ 상 전류에 보상하였다.

$$i_{gain} = \frac{i_{as\_max}}{i_{bs\_max}} = \frac{G_a}{G_b} \quad (10)$$

$$i_{bs\_comp} = G_b i_{bs} \times i_{gain} = G_a i_{bs} \quad (11)$$

## 3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험 결과

### 3.1 컴퓨터 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 실시간 보상 방법의 유효성을 검증하기 위해 이를 360[W]급의 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에 적용하여 MATLAB/Simulink 소프트웨어로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 방법으로는  $a$ 상 및  $b$ 상 전류에 0.1[A]의 오프셋 오차를 주입하고, 변환이득을 각각  $G_a = 1.2$ 와  $G_b = 0.9$ 로 어긋나도록 설정하였다. 그리고, 전동기를 1/2부

하 상태에서 +1200[rpm]으로 스텝 기동하고, 0.5[s]후에 제안된 방법을 적용하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 그림 2에 보였다. 이 시뮬레이션 결과로부터 제안된 보상 방법을 적용한 이후에는 토크리플이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

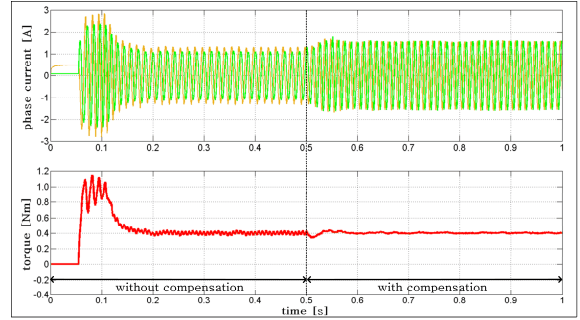


그림 2 제안된 보상 방법의 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation results of proposed compensation method

### 3.2 실험 결과

실험은 시뮬레이션과 동일한 방법으로 수행하였으며, 그림 3과 같이 본 논문에서 제안된 방법을 적용한 이후에는 토크리플이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

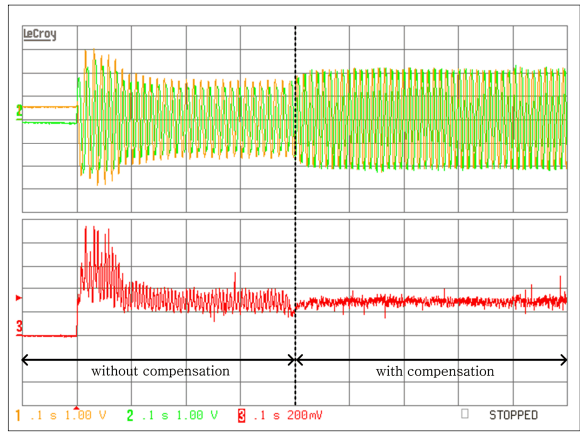


그림 3 제안된 보상 방법의 실험 결과

Fig. 3 Experimental results of proposed compensation method

## 4. 결 론

2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에서는 전류센서를 사용하여  $a$ 상 및  $b$ 상의 전류를 측정해야 한다. 그러나, 이 과정에서 오프셋 오차 및 변환이득 오차를 포함할 수 있으며, 이러한 측정 오차들은 전동기에 토크리플을 발생한다. 본 논문에서는 인버터의 전류측정 오차에 의한 전동기의 토크리플을 저감하기 위한 보상 방법을 제안하였고, 이를 360[W]급 2상 유도전동기용 벡터제어 인버터에 적용하여 토크리플이 감소하는 것을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 윤덕용, 홍순찬 “인버터의 전류측정 오차에 기인하는 교류 전동기의 토크리플 저감”, 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 280~286, 1994.
- [2] 김지훈, 윤덕용 “유도전동기용 벡터제어 인버터에서 전류 측정오차의 실시간 보상 방법”, 한국산학기술학회 논문지, 제15권, 제3호, pp. 1685~1690, 2014.