

2상 유도전동기의 벡터제어를 위한 저가형 전류측정 방법

오광호, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

A Low-Cost Current Measurement Method for Vector Control of Two-Phase Induction Motor

Kwang Ho Oh, Duck Yong Yoon

Kongju National University

ABSTRACT

2상 유도전동기(2PIM ; 2 Phase Induction Motor)의 벡터제어를 위해서는 전동기로 입력되는 상전류를 실시간으로 측정해야 한다. 본 논문에서는 가전제품과 같은 저전력 응용분야를 대상으로 고가의 홀전류센서 대신에 2개의 션트저항과 연산 증폭기를 사용하여 모든 운전영역에서 정밀하게 전류를 측정하는 방법을 제안한다. 2상 유도전동기용 인버터는 주로 저전력 응용분야를 대상으로 연구가 진행되고 있으므로 홀전류센서를 사용하여 전류를 측정하는 방법은 경제성 측면에서 부적합하다. 따라서, 본 논문에서는 인버터의 출력단에 홀전류센서 대신에 션트저항을 삽입하고, 양단전압을 차동증폭기로 증폭하여 전류를 측정한다. 실험을 통하여 제안된 방법의 유효성을 검증한다.

1. 서 론

단상 유도전동기는 3상 전원을 사용할 수 없는 환경에서 가전제품과 같은 저전력 응용분야에 널리 사용되어 왔다.^[1] 가변속 구동을 필요로 하는 전동기 응용분야에서는 여러 가지 기술적 이유로 대부분 3상 유도전동기를 사용한다. 최근에는 가전제품의 고급화 추세에 따라 여기서도 전동기의 고성능 제어가 요구되고 있다. 그러나, 단상 유도전동기의 경우에는 전통적으로 정속제어에 주로 사용되어 왔고, 주권선과 보조권선의 불평형으로 인하여 벡터제어가 어렵다.^[2] 하지만, 단상 유도전동기를 주권선과 보조권선이 대칭 분포된 2상 유도전동기로 대체하면 벡터제어가 상당히 수월해진다.

유도전동기의 벡터제어를 위해서는 전동기로 입력되는 상전류를 측정하는 것이 필수적으로 요구되며, 일반적으로 홀전류센서(Hall current sensor)를 사용하여 각 상의 전류를 측정한다. 대용량 인버터에서는 홀전류센서의 가격이 큰 비중을 차지하지 않지만, 저전력 응용분야에서는 홀전류센서의 가격이 전체 시스템에서 차지하는 비중이 크므로 이를 사용하는 것은 경제성 측면에서 부적합하다. 이러한 이유들로 인하여 3상 인버터에서는 홀전류센서 대신에 션트저항을 사용하는 방법이 널리 연구되어 왔으나^[3], 2상 유도전동기를 사용한 벡터제어 인버터에서는 아직까지 거의 연구가 이루어지고 있지 않다.

본 논문에서는 360[W]급의 2상 유도전동기를 위한 벡터제어 인버터의 출력단에 홀전류센서 대신에 션트저항을 사용하여 상전류를 측정하는 방법을 제안하고, 이것의 전류측정 성능을 실험으로 확인한다.

2. 션트저항을 사용한 전류측정 방법

2.1 상전류 측정을 위한 아날로그 회로 설계

션트저항을 사용하는 전류측정 방법은 저가로 전류를 측정할 수 있다는 장점이 있지만, 고압으로 플로팅 되어 있는 신호를 처리하는 기술과 정밀한 아날로그 회로 설계 기술이 필요하다. 본 논문에서 사용한 전류측정 회로는 그림 1과 같으며, 이것은 션트저항의 양단전압을 검출하여 증폭하기 위한 차동증폭회로와 마이크로프로세서의 A/D컨버터를 위한 오프셋 전압 추가 회로로 구성된다.

차동증폭회로는 입력신호가 연산증폭기의 단자에 직접 입력되어 입력 임피던스가 매우 높고, 공통모드 전압에 영향을 받지 않는 특징을 가지고 있다.^[3] 션트저항의 양단은 전위가 수백 [V]로 높게 플로팅 되어있기 때문에 이를 저항분압으로 낮추어 차동증폭기의 입력 E_1 과 E_2 에 인가해야 한다. 그리고 차동증폭회로의 출력신호는 0[V]를 기준으로 하는 양극성 교류신호이기 때문에 마이크로프로세서의 A/D컨버터에 입력하려면 직류 오프셋 전압을 더해주는 회로가 추가되어야 한다.

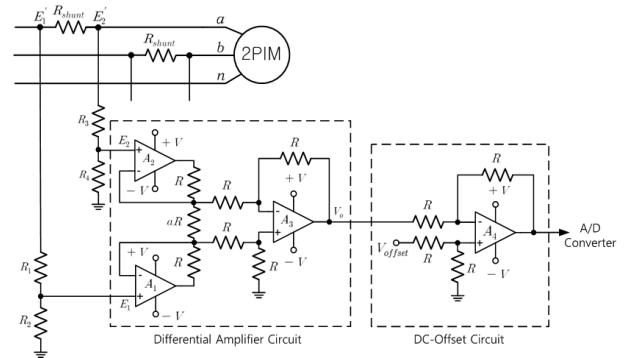


그림 1 상전류 측정을 위한 아날로그 회로
Fig. 1 Analog circuit for phase current measurement

본 논문에서 사용한 차동증폭회로의 기본 출력식은 식 (1)과 같다.

$$V_o = \left(1 + \frac{2}{a}\right)(E_1 - E_2) \quad (1)$$

단, a 는 aR 과 R 의 저항비를 나타낸다.

여기서, 분압저항 R_1 과 R_3 가 같고, R_2 와 R_4 가 같다면 이것을 위 식에 대입하여 식 (2)와 같이 다시 정리할 수 있다.

$$V_o = \left(1 + \frac{2}{a}\right) \left\{ \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) E'_1 - \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) E'_2 \right\} \quad (2)$$

$$= \left(1 + \frac{2}{a}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) (E'_1 - E'_2)$$

이상의 결과로부터 출력전압을 상전류로 환산한 결과식은 식 (3)과 같다. 여기서, V_o 는 차동중폭회로의 출력전압이다.

$$i_s = \frac{E'_1 - E'_2}{R_{shunt}} = \frac{V_o}{\left(1 + \frac{2}{a}\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) R_{shunt}} \quad (3)$$

2.2 전체 시스템의 구성

2상 유도전동기 벡터제어 인버터에 션트저항을 사용한 전류 측정 방법을 적용한 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 전력회로는 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하여 3레그형 인버터로 구성하였고, 제어기로는 ARM Cortex M4형 마이크로컨트롤러인 STM32F407VET6을 사용하였다. 여기에 홀전류센서와 션트저항을 모두 사용하여 2개의 전류측정 결과를 비교 실험할 수 있도록 구성하였다.

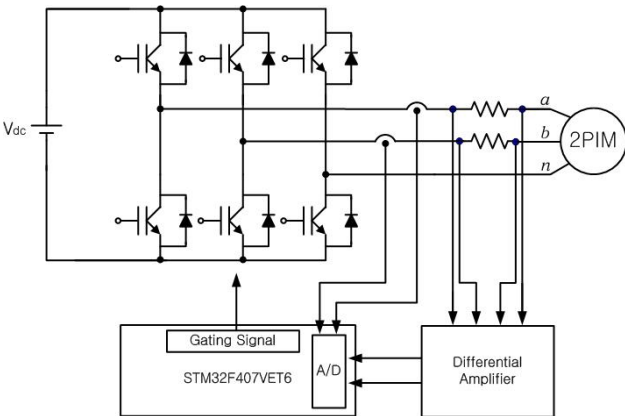


그림 2 2상 벡터제어 인버터의 구성
Fig. 2 Vector controlled 2-phase inverter

3. 실험 결과

그림 3은 +1200[rpm]의 기준속도로 벡터제어를 수행하는 동안에 홀전류센서와 션트저항으로 측정된 a 상 전류의 비교 파형이다. 여기서, 채널 1은 홀전류센서로 측정된 전류파형이며, 채널 2는 션트저항을 사용하여 측정된 전류파형이다. 채널 3은 두 측정값의 차이를 나타낸다. 실험 결과로부터 2가지의 방법으로 측정된 전류가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 션트저항으로 측정된 전류를 적용하여 벡터제어를 수행한 결과로서 1/2부하에서 전동기를 +1200[rpm]으로 스텝 기동한 경우의 응답 파형이다. 여기서, 채널 1은 기준속도, 채널 2는 실제속도, 채널 3은 a 상 전류, 채널 4는 q 축 전류를 나타낸다. 이는 홀전류센서를 사용한 경우와 거의 유사한 결과로서 기동특성이 매우 양호하게 나타나는 것을 알 수 있다.

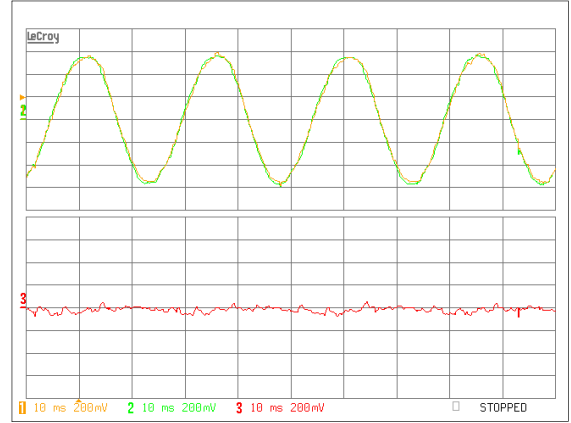


그림 3 홀전류센서와 션트저항으로 측정된 a 상 전류의 비교
Fig. 3 Comparison of phase- a currents measured by hall current sensor and shunt resistor

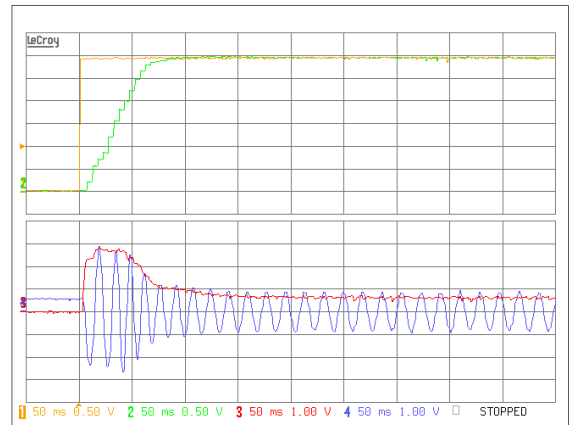


그림 4 션트저항으로 측정된 전류를 사용한 벡터제어 실험
Fig. 4 Experimental results of vector control using currents measured by shunt resistors

4. 결론

2상 벡터제어 인버터에서 션트저항을 사용한 전류측정 방법은 홀전류센서를 사용한 방법과 거의 유사한 측정결과를 나타내며, 가전제품과 같은 저전력 응용분야에서 홀전류센서를 대신하여 전체 시스템의 가격을 낮추는 방안이 될 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. B. R. Correa, C. B. Jacobina, A. M. N. Lima, and E. R. C. da Silva, "Rotor flux oriented control of a single phase induction motor drive," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 47, no. 4, pp. 832~841, Aug. 2000.
- [2] Do Hyun Jang, "Problems incurred in a vector controlled single phase induction motor, and a proposal for a vector controlled two phase induction motor as a replacement", IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 1, pp.526~536, Jan. 2013.
- [3] 이원일, 윤덕용, "저가형 교류전동기 벡터제어 인버터를 위한 새로운 전류측정 방법", 전기학회 논문지, 제62권, 제7호, pp. 950~955, 2013. 7.