

# 홀 전류센서 1개를 사용한 3상 유도전동기 벡터제어 인버터의 구현

이원일<sup>0</sup>, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

## Vector Control Inverter of 3-Phase Induction Motor with Single Hall Current Sensor

Won Il Lee, Duck Yong Yoon

Kongju National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 1개의 홀 전류센서를 사용하여 3상 유도전동기의 벡터제어 인버터를 구현한다. 기존 방식에서는 3상의 전류를 검출하기 위하여 2개의 홀 전류센서를 사용하므로 전체 시스템의 가격이 상승하는 요인이 되었다. 본 논문에서는 시스템의 저가격화를 위해 한 상의 전류는 홀 전류센서를 사용하여 검출하고, 다른 한 상의 전류는 Low side switch와 DC 링크의 음극 사이에 삽입한 셉트 저항을 사용하여 검출하는 방법을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 성능을 검증한다.

### 1. 서론

3상 유도전동기 벡터제어 인버터에서는 속도를 가변하기 위해 토크를 제어한다. 이를 위해서는 고정자의 입력전류를 제어해야 하며 전동기의 입력전류를 정확하게 검출하는 것이 매우 중요하다. 기존 시스템에서는 3상전류를 검출하기 위해 고가의 홀 전류센서 2개를 사용하고, 이로부터 나머지 한 상의 전류를 환산하여 사용하였다.<sup>[1]</sup> 최근에는 벡터제어 인버터를 저가형으로 만들기 위해 홀 전류센서를 사용하지 않고 DC링크에 1개의 셉트저항을 사용하거나,<sup>[2]</sup> Low side switch와 DC링크의 음극 사이에 셉트 저항을 사용하여<sup>[3]</sup> 전류를 검출하는 방법이 제안되었다. 그러나, 셉트저항에서 검출된 전류는 전류측정 시간의 부족, 스위칭 노이즈, 필터회로에 의해 왜곡이 발생하므로 정밀한 전류측정이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 a상전류는 홀 전류센서를 사용하여 검출하고, b상전류는 셉트 저항을 사용하여 검출함으로써 왜곡을 최소화하고자 한다. 이 방법에서 홀 센서로 측정된 전류에는 왜곡이 없으나 셉트저항에서 검출된 전류는 여전히 왜곡이 발생하기 때문에 본 논문에서는 영벡터 삽입방법 변경과 최대 듀티비 제한을 통하여 전류왜곡을 최소화함으로써 홀 전류센서 2개를 사용했을 때와 거의 유사한 전류측정 결과를 얻을 수 있음을 보인다.

### 2. 본론

#### 1.1 3개의 셉트저항을 사용한 상전류의 검출

3개의 셉트저항을 사용해서 각 상전류를 검출하기 위해서는 그림 1처럼 Low side switch와 DC링크의 음극 사이에 셉트저항을 삽입하고, 영벡터를 인가하는 시간에 이 저항의 양단전압을 측정하여 상전류를 검출한다. 즉, 영벡터 V0를 인가하면 인

버터의 High side switch는 모두 OFF상태가 되고 Low side switch는 모두 ON상태가 되므로 셉트저항에 흐르는 전류를 측정할 수 있다. 그러나, 큰 토크를 발생하기 위하여 듀티비를 100%로 출력하는 경우에는 영벡터를 출력하지 않기 때문에 상전류를 검출할 시간을 확보할 수 없게 된다. 이러한 현상은 부하가 클수록 그리고 정격속도 근처일수록 심하게 발생하며, 이를 해결하는 방법은 이미 여러 논문에서 제시되었다.<sup>[2]</sup>

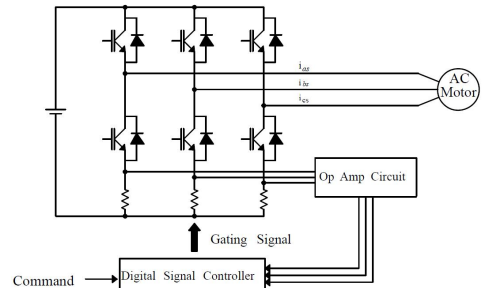


그림 1 3개의 셉트저항을 사용한 전류검출 방법

#### 1.2 1개의 홀 전류센서를 사용한 전류 검출

3개의 셉트저항을 사용한 전류 검출 방식에서는 듀티비가 100% 부근에서 영벡터 V0벡터를 인가하는 시간이 충분하지 못하여 전류를 검출하기 어렵고, 전류검출이 부정확하면 전동기에서 토크리플, 진동 등의 문제가 발생할 수 있다. 그러나, 그림 2와 같이 a상의 전류는 홀 전류센서를 사용하고 b상의 전류는 셉트저항을 사용하여 검출하면 각 상에서 발생할 수 있는 전류 왜곡을 감소시킬 수 있다. 하지만 이 방법에서도 영벡터 V0를 확보하지 못하였을 때 발생하는 문제점은 여전히 존재하므로 이 문제를 해결하기 위한 2가지 방법을 제시한다.

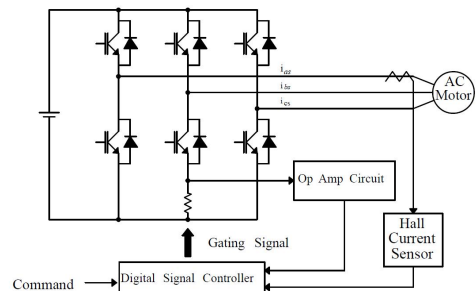


그림 2 1개의 홀 전류센서와 1개의 셉트저항을 사용한 전류 검출

### 1.3 2상 비대칭 변조법을 사용한 전류 검출 개선

3개의 선트저항을 사용하여 전류를 검출할 때의 가장 큰 문제점은 V0벡터 인가시간이 너무 짧으면 전류를 정확하게 검출하지 못하는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 SVPWM을 3상 대칭 변조법에서 2상 비대칭 변조법으로 바꾼다면 그림 3과 같이 V7벡터를 V0벡터로 합하여 인가하기 때문에 상전류를 A/D 변환하기 위한 시간이 2배로 증가하게 된다. 출력전류의 고조파 특성에 중점을 두는 경우에는 영벡터를 2등분하여 V0와 V7로 인가하지만, 전류측정에 중점을 두는 경우에는 이처럼 영벡터를 V0벡터로 통합하여 인가하는 것이 유리하다.

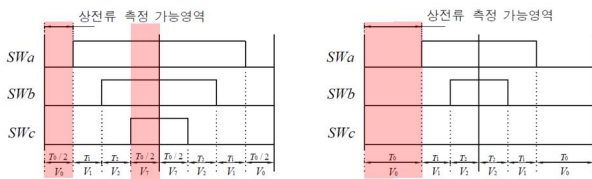


그림 3 3상 대칭 변조법과 2상 비대칭 변조법에서의 V0벡터 인가 시간

### 1.4 듀티비 제한에 의한 전류 검출 개선

2상 비대칭 변조법을 적용하더라도 큰 토크를 출력하는 경우에는 듀티비가 100%가 되기 때문에 전류를 A/D 변환하기 위한 시간이 부족하다. 따라서 그림 4와 같이 최대 듀티비를 어느 값으로 제한하면 전류를 A/D 변환하기 위한 시간을 확보할 수 있다. 이 방법은 SVPWM의 최대 듀티비를 제한함으로써 인버터가 최대전압을 출력하지 못하는 문제가 있지만, 이것은 전류 검출은 물론이고 부트스트랩 방식을 사용한 게이트 드라이브 회로의 정상적인 동작을 위해서도 불가피한 조치이다.



그림 4 V0벡터시간을 확보하기 위한 최대 듀티비의 제한

### 1.5 시뮬레이션

벡터제어 인버터의 시뮬레이션은 PSIM을 사용하여 3개의 선트저항을 사용한 경우와 본 논문에서 제안한 1개의 홀 전류 센서를 사용한 경우에 대하여 각각 수행하였다. 전부하에서 1600[rpm]으로 스텝 기동하는 경우 회전속도, b상 전류, q축 전류의 시뮬레이션 결과를 그림 5에 보였다. 3개의 선트저항을 사용한 경우에는 정격속도인 1600[rpm] 부근에서 전류검출이 정확하지 못하여 속도제어가 매우 불안정하게 수행된다.

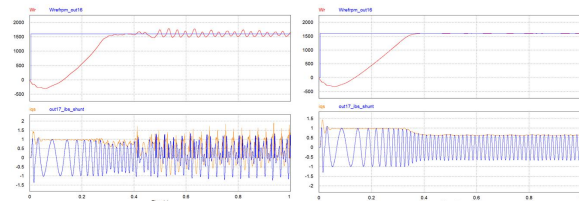


그림 5 3개의 선트저항을 사용한 경우(좌)와 홀 전류 센서 1개를 사용한 경우(우)의 1600[rpm] 스텝 기동특성

### 1.6 실험결과

시뮬레이션과 실험에서는 샘플전동기로 60[W]의 3상 유도전동기를 사용하였다. 전부하 조건에서 1200[rpm]으로 스텝 기동한 경우 기준속도, 실제속도, b상 전류, q축 전류의 실험파형은 그림 6과 같다. 전동기 속도가 정격속도보다 훨씬 낮은 영역에서는 V0벡터 인가시간에 전류를 검출할 수 있으므로 별 문제 없이 벡터제어가 수행된다. 그러나, 1600[rpm]으로 스텝 기동한 그림 7의 실험파형에서는 정격속도 부근에서 전류검출이 부정확하여 벡터제어가 불안정하게 되는데, 제안된 방식을 사용하면 고속영역에서도 안정적으로 제어되는 것을 볼 수 있다.

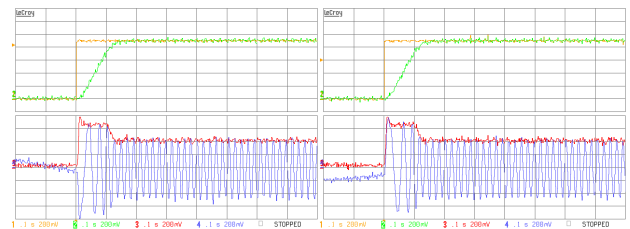


그림 6 3개의 선트저항을 사용한 경우(좌)와 홀 전류 센서 1개를 사용한 경우(우)의 1200[rpm] 스텝 기동특성

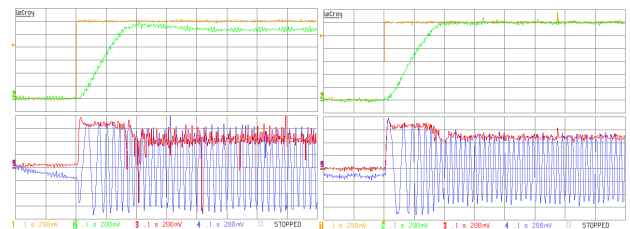


그림 7 3개의 선트저항을 사용한 경우(좌)와 홀 전류 센서 1개를 사용한 경우(우)의 1600[rpm] 스텝 기동특성

## 3. 결론

본 논문에서는 벡터제어 인버터의 3상 출력전류를 검출하기 위하여 종래에 2개의 홀 전류센서를 사용했던 방식을 저가 격화를 위해 a상에 1개의 홀 전류센서만을 사용하고 b상에는 선트저항을 사용하는 방식으로 개선하였다. 선트저항에서 전류를 검출하는데 필요한 영벡터 V0의 인가시간을 확보하기 위한 방법으로 2상 비대칭 변조법과 최대 듀티비 제한 방법을 적용하였다. 제안된 방법은 기존의 홀 전류센서를 2개 사용하는 방법과 거의 유사한 성능을 나타내는 것을 시뮬레이션과 실험으로 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 윤덕용, 홍순찬, “공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구 자석형 동기전동기의 속도제어”, 전기학회논문지, 제43권, 제7호, pp.1112~1120, 1994. 7
- [2] F. Blaabjerg, J.K. Pedersen, U. Jaeger, and P. Thøgersen, “Single current sensor technique in the DC link of three phase PWM VS inverters: a review and a novel solution,” IEEE Trans. Industry Applications, vol. 33, Issue 5, pp.1241~1253, Sep. 1997.
- [3] 신승민, 박래관, 이병국, 구분관, 최준혁, “Three Shunt Resistor를 이용한 동기 전동기 구동 방법 분석”, 전력전자학회 2010년도 추계학술대회 논문집 pp.306~307. 2010. 11