

Three Shunt Resistor를 이용한 동기 전동기 구동 방법 분석

신승민*, 박래관*, 이병국*, 구본관**, 최준혁**
 성균관대학교*, 전자부품연구원**

Analysis of Current Sensing Method using Three Shunt Resistor for Synchronous Motor Drive

Seung-Min Shin*, Rae-Kwan Park*, Byoung-Kuk Lee*, Bon-Gwan Gu**, Jun-Hyuk Choi**
 SungKyunKwan University*, Korea Electronics Technology Institute**

ABSTRACT

본 논문에서는, 동기 전동기 구동을 위해 Three Shunt Resistor를 이용하여 전류를 피드백 받는 방법에 대하여 분석한다. 특히 Three Shunt Resistor를 이용하여 전류를 피드백 받는 경우 Modulation Index (MI)의 크기에 따라 피드백 받은 상전류 정보의 왜곡이 발생하는 문제점에 대하여 분석하고 이를 해결하기 위한 새로운 방법을 제안하며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

1. 서론

동기 전동기 구동을 위해 SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) 삼상 인버터를 벡터 제어할 때, 순시적으로 토크를 제어하기 위해서 상전류를 피드백 받는다. 상전류를 피드백 받는 방법들은 크게 두 개의 CT (Current Transducer)를 이용하는 방법, DC Link Negative 단에 하나의 Shunt Resistor를 연결하는 방법, 인버터 아랫단 스위치 Emitter와 DCN 사이에 세 개의 Shunt Resistor를 연결하는 방법이 있다. 특히, 세 개의 Shunt Resistor를 이용하여 상전류를 피드백 받아오는 방법은 모터의 속도가 고속이라 MI 값이 높은 경우 (000)의 유지 시간이 짧아 상전류 정보를 올바르게 피드백 받아올 수 없는 구간이 존재한다. 이 부분에서 읽어들인 상전류 정보로 벡터 제어할 때는 모터의 진동과 심한 경우 탈조로 이어질 수 있기 때문에 전압이 제한된 선형 영역까지만 상전류 정보를 읽어와 모터 제어에 이용되어 지고 있다^{[1][2]}.

본 논문에서는 세 개의 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 정보를 읽어오는 경우 발생하는 문제점과 원인을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 상전류 피드백 방법을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 타당성을 검증한다.

2. 본론

1.1 Three Shunt Resistor의 상전류 검출 방법

세 개의 Shunt Resistor를 이용하는 방법은 그림 1과 같이 아랫단 반도체 스위치의 Emitter와 DCN 사이에 연결된 Shunt Resistor의 전압 강하를 피드백 받아 상전류 정보를 얻는다.

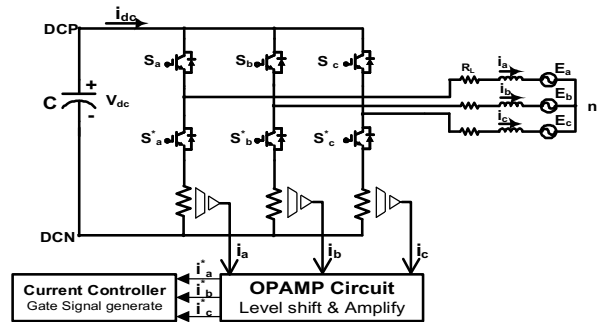


그림 1 Three Shunt Resistor를 이용한 상전류 피드백

인버터 각암의 윗단 스위치는 꺼지고 아랫단 스위치만 켜졌을 경우에만 Shunt Resistor에 흐르는 전류 정보는 인버터 출력 상전류와 동일하기 때문에 그림 2와 같이 PWM 스위칭 구간동안 (000) 구간에서 삼상의 상전류 정보를 모두 피드백 받아 벡터 제어를 수행한다.

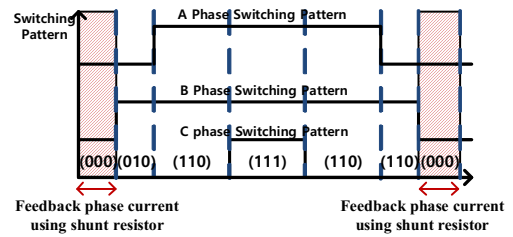


그림 2 Shunt Resistor의 전류 피드백 구간

1.2 Three Shunt Resistor의 제한 사항

아랫단 스위치의 Emitter와 DCN사이에 연결된 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 정보를 얻는 방법은 그림 3과 같이 (000)의 유지 시간이 적어도 식 1보다 길어야 한다는 제한이 있다.

$$T_{min} = T_{ad} + T_{rs} + T_{opamp} \quad (1)$$

여기서, T_{ad} : Analog to Digital Conversion Time
 T_{rs} : Power Switch Rising and Settling Time
 T_{opamp} : 증폭, Level Shift를 위한 OP-AMP 회로의 Time Delay

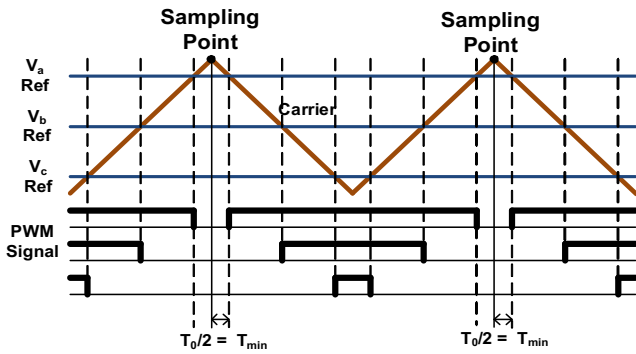


그림 3 (000) 제로 벡터의 최소 유지 시간

(000) 제로 벡터의 유지 시간이 T_{min} 보다 짧은 경우 잘못된 상전류 정보를 획득하여 모터 제어하기 때문에 진동 혹은 탈조로 이어지게 된다.

1.3 선형영역과 비선형 영역

그림 4와 같이 작은 원 영역과 같은 선형 영역에서는 (000) 제로 벡터의 최소 유지 시간 T_{min} 이 확보 가능하다.

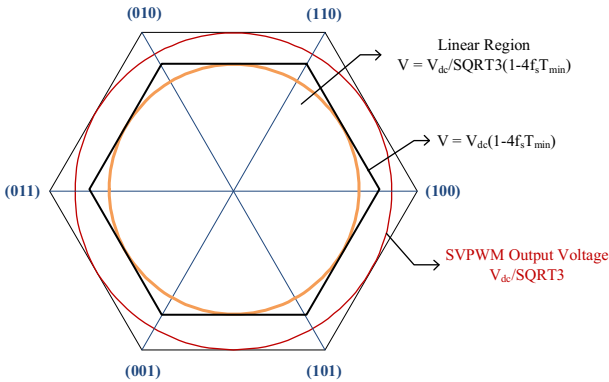


그림 4 (000) 선형영역과 비선형 영역

하지만, 식 2를 통해 구한 MI 값 이상의 영역에서는 올바른 상전류 정보를 얻을 수 없으며, SVPWM 최대 출력 전압과 작은 원과의 전압 차이를 구하면 식 3과 같다.

$$MI = \frac{1}{\sqrt{3}}(1 - 4f_s T_{min}) \quad (2)$$

$$V_{dif} = \frac{4V_{dc}f_s T_{min}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

여기서, V_{dc} 는 DC Link 접압, f_s 는 스위칭 주파수를 나타낸다.

1.4 Three Shunt Resistor 상전류 피드백 방법

식 3과 같은 전압 차이를 보상하고 SVPWM 최대 출력 전압 까지 정상적으로 상전류를 피드백 받아오기 위해 과변조 기법과, 스위칭 시간을 직접 계산하는 방법을 사용하였다. 또한 그림 4의 선형 영역과 비선형 영역을 구분하는 기준으로 식 4를 사용하여 선형영역, 과변조 영역 Mode I, Mode II로 구분하였다.

$$M_{OverMod} = \frac{|V^*|}{\frac{2}{\pi}V_{dc}(1-4f_s T_{min})} \quad (4)$$

과변조 영역 Mode I은 MI 값의 크기가 $0.9068 \leq MI < 0.9517$

인 구간, Mode II는 MI 값의 크기가 $0.9517 \leq MI < 1$ 인 구간으로 구분한다.

식 5를 이용하여 가상의 출력 전압을 구하여 그 전압값을 기준으로 출력 전압을 보상해 주며, Three Shunt Resistor를 이용하여 상전류를 피드백 받는 경우 필요로 하는 T_{min} 이 확보 가능해진다.

$$V_{Stand} = V_{dc}(1 - 4f_s T_{min}) \quad (5)$$

1.5 시뮬레이션

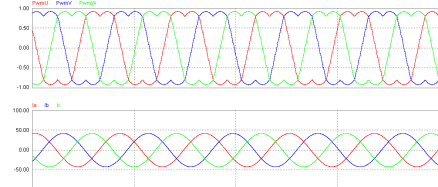


그림 5 선형 영역의 Reference 파형과 상전류 파형

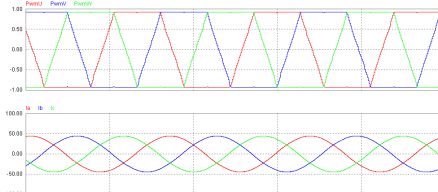


그림 6 Mode I 영역의 Reference 파형과 상전류 파형

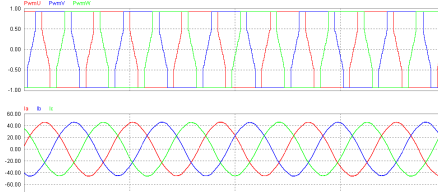


그림 7 Mode II 영역의 Reference 파형과 상전류 파형

그림 4, 5, 6은 각각 선형영역과 과변조 영역의 Mode I, Mode II의 PWM 발생을 위한 Reference 파형과 피드백 받은 상전류 파형을 보여준다. 이 파형을 통하여 Mode I, II 영역의 피드백 받은 상전류 파형이 거의 사인 파형에 가까우며, 평형을 유지 하는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 동기 전동기 구동을 위해 Three Shunt Resistor를 이용하여 상전류를 피드백 받는 경우 발생하는 문제점을 분석하였다. 또한 이러한 문제점을 해결하기 위해 과변조 기법을 이용한 새로운 상전류 피드백 방법을 제시하였으며, 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참고 문헌

- [1] S. Chi, X. Wang, Y. Yuan, Z. Zhang and L. Xu, "A current reconstruction scheme for low-cost PMSM drives using shunt resistors," APEC2007-Twenty Second Annual IEEE, PP. 1701-1706, 2007.
- [2] F. Parasiliti, R. Petrella and M. Tursini, "Low cost phase current sensing in DSP," Proc. IEEE ISIE'99, Vol 3, PP. 1284-1289, 1999.