

동기 전동기 구동을 위한 전류 센싱 방식의 비교 분석

신승민*, 김종수*, 박래관*, 이병국*, 구분관**, 최준혁**
성균관대학교*, 전자부품연구원**

Analysis of Current Sensing Methods for Synchronous Motor Drives

Seung-Min Shin*, Jong-Soo Kim*, Rae-Kwan Park*, Byoung-Kuk Lee*, Bon-Gwan Gu**,
Jun-Hyuk Choi**

SungKyunKwan University*, Korea Electronics Technology Institute**

ABSTRACT

차이점을 분석한다.

본 논문은 동기 전동기 속도 및 토크 제어를 위해 필요한 전류 센싱 방식들의 특징을 비교분석한다. 동기 전동기 전류 검출 방법 중 가장 많이 사용되는 홀 CT (Current Transducer)를 이용한 방법과 3상 인버터 각 암에 3개의 Shunt Resistor를 통하여 전류를 검출하는 방법을 적용하여 동기 전동기를 벡터 제어하고 각각의 장단점을 분석한다. 분석내용을 PSIM을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

1. 서론

동기 전동기를 연결된 부하 시스템의 정밀한 위치 또는 속도 제어를 위해서 전동기의 순시 토크 제어가 필수적이다. 이러한 순시 토크 제어 방법에는 자속 벡터를 기준하여 전류의 크기와 방향을 제어하는 벡터 제어 (Vector Control) 기법이 사용된다.^[1] 동기 전동기의 벡터 제어를 위해서는 전류의 빠른 응답 특성과 정확한 전류 제어가 필요하다. 이를 위해 폐 루프 제어 (Close-Loop Control) 시 전류 센서를 이용하여 연속적인 상전류를 피드백 받게되며, 상전류를 피드백 받는 방법에는 홀 CT를 이용하는 방법과 Shunt Resistor를 이용하는 방법이 있다.^[2] 3상 인버터의 구동을 위해 홀 CT를 이용하여 전류를 피드백 받는 방법은 전류를 피드백 받는 방법 중 가장 안정적이어서 많이 사용되고 있지만 저용량, 낮은 가격의 드라이브 구현 시 가격, 부피 등의 문제가 있다. 가격과 사이즈를 줄여 낮은 가격의 드라이브 구현을 위해 나온 방법이 Shunt Resistor를 이용하여 전류 크기를 피드백 받는 방법이다. 3상의 인버터에서 전류 크기를 피드백 받기 위해 세 개의 Shunt Resistor를 이용한 경우 두 개의 홀 CT를 이용한 경우보다 인버터의 응답 속도가 빠르지만, 상전류 크기를 Shunt Resistor에 읽어오는 영벡터 구간의 유지 시간이 스위치의 Turn-on, Turn-off 시간보다 짧은 경우 모터의 속도를 제어할 수 없는 문제가 발생한다.^[3]

본 논문에서는 동기 전동기 벡터제어를 위해 3상 인버터에서 두 개의 홀 CT를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 방법, 3상 인버터 각암의 아랫단 스위치 후단에 세 개의 Shunt Resistor를 연결하여 상전류 크기를 피드백 받는 방법의 장단점을 분석한다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 홀 CT, 세 개의 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 경우의

2. 본론

2.1 홀 CT를 이용한 상전류 피드백

홀 CT는 전류에 의해 생성된 자기장을 측정함으로써 배선에서 전류 흐름을 측정하고, 출력 전압을 생성하는 장치로 이것을 이용하여 상전류를 피드백 받는 경우는 그림 1과 같이 2개의 홀 CT를 이용한다.

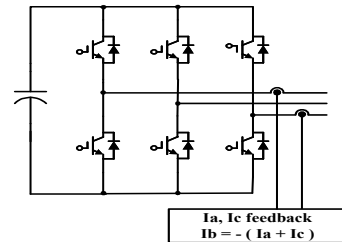


그림 1. 홀 CT를 이용한 상전류 피드백

a상과 c상의 인버터 출력 단에 홀 CT를 연결하여 연속적인 상전류 크기 정보를 피드백 받으며, 나머지 b상의 상전류 크기 정보는 모터는 삼 상이 평행하다는 조건을 나타내는 식 (1)을 통해 아날로그 회로를 통해 구한다. 홀 CT를 이용하여 상전류 크기 정보를 피드백 받는 방법은 모터의 속도에 관계없이 벡터 제어에 가장 안정적인 방법이며 현재 가장 많이 사용되어 지고 있다.

$$I_b = -(I_a + I_c) \quad (1)$$

하지만 홀 CT는 드라이브 구현 시 가격, 부피의 문제를 항상 동반하며, 온도의 변화에 따라 정확도가 변한다. 또한 일반적으로 사용되는 개방 루프 홀 효과 전류 센서는 코어에서 발생하는 히스테리시스 오차 (Hysteresis Error)를 가지고 있으며, 폐쇄 루프 홀 효과 전류 센서 보다 가격적인 면은 유리 하지만 응답 속도가 느려 DC Link단의 단락, 과전류 등의 검출이 어려워 하드웨어의 고장을 일으킬 수 있다는 단점이 있다.

2.2 Shunt Resistor를 이용한 상전류 피드백

Shunt Resistor는 미소 저항체에 전류를 흘려 전압 강하를

측정하여 통과된 전류를 측정하는 것으로 이것을 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 경우 그림 2와 같이 인버터 각 암의 아랫단 스위치 후단에 세 개의 Shunt Resistor를 연결한다.

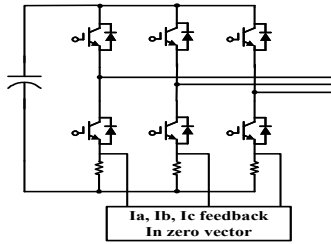


그림 2. Shunt Resistor를 이용한 상전류 피드백

이 경우 각암의 아랫단 스위치가 켜져 Shunt Resistor를 통해 전류가 흐르는 경우에만 상전류 크기를 피드백 받을 수 있다. 즉, 그림 3과 같이 한 주기의 PWM 스위칭 구간동안 영벡터인 (000)인 구간에서 3상의 상전류 크기 정보를 모두 피드백 받아 모터를 제어한다.

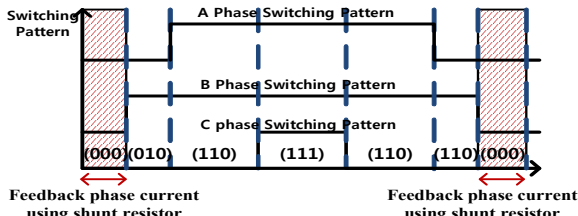


그림 3. Shunt Resistor의 상전류 피드백 구간

여기서 중요한 점은 상전류를 피드백 받는 순간을 PWM 펄스에 동기 시켜야 하는 것이다. 즉, SVPWM (Space Vector PWM)으로 구동 시 스위칭 노이즈가 모터에 영향을 주는 것을 최소화하기 위해 영벡터의 중각부분과 동기화 시켜야 한다.

세 개의 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 방법은 홀 CT를 이용해서 상전류 크기를 피드백 받는 방법보다 응답 특성이 빠르며, 제한된 용량 이하에서는 손쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이 방법은 식 (2)와 같은 영벡터의 최소 유지 시간이 필요하다.

$$T_{min} = T_{dt} + T_{rs} + 2T_{sh} \quad (2)$$

여기서, T_{dt} 는 Dead-Time, T_{rs} 는 Rise and Settling Time, T_{sh} 는 Sampling Time을 나타낸다.

즉, 모터의 속도가 빨라져서 영벡터의 유지 시간이 스위치의 Turn-on, Turn-off 시간보다 짧아지는 경우 모터를 제어하는 못하는 문제가 발생한다.

1.3 시뮬레이션

홀 CT를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 경우와 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 경우의 차이점 분석을 위하여 동일한 입출력 조건으로 두 가지 경우를 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 Shunt Resistor를 이용하여 a상 상전류를 피드백 받은 경우와 Shunt Resistor를 이용하여 피드

백 받은 상전류를 Sampling 하였을 경우 파형을 보여준다. Shunt Resistor를 이용하여 영벡터 구간에서 상전류를 피드백 받기 때문에 구형과 형태의 파형이 나타나지만 Sampling 되었을 경우 홀 CT와 동일한 형태의 상전류 파형이 나타남을 보여준다.

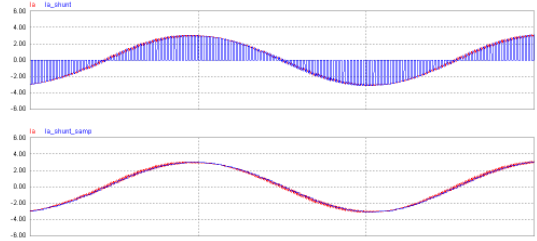


그림 4. Shunt Resistor 상전류 피드백 파형

그림 5는 Shunt Resistor를 이용하여 상전류 크기를 피드백 받는 경우 모터 속도가 7700rpm에서 영벡터 유지 시간이 T_{min} 보다 짧아져 모터의 속도 제어가 되지 않음을 보여 준다.

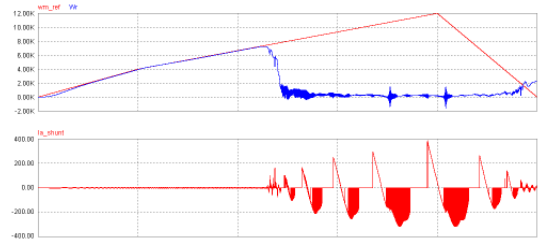


그림 5. Shunt Resistor의 모터 속도 제어가 안되는 경우

3. 결론

본 논문에서는, 동기 전동기의 벡터 제어를 위해 연속적인 상전류를 피드백 받는 방법인 홀 CT를 이용하는 방법, 세 개의 Shunt Resistor를 이용하는 방법의 장단점을 설명하였다. 특히 시뮬레이션을 통하여 각 방법의 상전류 피드백 파형의 차이점을 확인하였으며, Shunt Resistor를 이용하여 상전류를 피드백 받는 경우 모터 속도가 빨라지면 영벡터 유지 시간이 짧아져 모터 속도 제어가 되지 않는 것을 확인 하였다.

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.
- [3] H. Kim, S. Yi, N. Kim, R.D. Lorenz, "Using low resolution position sensors in bumpless position/speed estimation methods for low cost PMSM drives," Proceedings of the 40th IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Hong Kong, 2005.