

Observer Method for Three-Phase Current Estimation in PWM Inverters Using a single Sensor

Hyung-Seop Kim*, Won-Sang Im**, Hyun-Keun Ku***, Jang-Mok Kim****

Department of Electrical Engineering, Pusan University, Busan 609-735, KOREA

Abstract

This paper proposes a single current sensor control technique for controlling motors that use only a single DC-Link current sensing resistor to obtain the information of three line currents. However, the measurement is distorted due to the too narrow current pulse width in the shunt resistor. To solve this problem, the existing phase current reconstruction methods are voltage split methods. They have a disadvantage which makes noise. A new dedicated observer is applied to decrease noise problem. Experimental results showed the effectiveness of the proposed method

1. Introduction

PWM 인버터를 이용한 교류 전동기의 폐루프 벡터 제어 구동 시스템에선 전동기의 상 전류 정보 획득이 필수적이다. 그래서 대개의 PWM 인버터는 적어도 2개 이상의 전류 센서를 이용하여 각 상의 전류정보를 획득하고 3상 교류 전동기의 벡터제어에 이용한다. 3상의 상 전류가 직류단 shunt 저항을 통해 흐르는 직류단 전류로부터 획득가능 하다면 전류센서와 이를 사용하기 위한 주변회로를 줄일 수 있기 때문에 전체 전동기 드라이브 구성을 위한 단가를 획기적으로 저감할 수 있다. 또한 단일 직류단 shunt 저항을 이용하여 3상의 전류 정보를 획득하므로 복수 개의 전류센서를 사용했을 때 발생하는 획득 상 전류의 오프셋, 스케일 오차로 인한 불필요한 토크맥동을 제거할 수 있는 장점이 있다. 현재까지 직류단 전류로부터의 전류복원 알고리즘에 대한 다수의 연구가 진행 되어 왔다. 이 기법들에는 Voltage split[1-4] 기법이 대다수를 이루고 있다. 이 방법은 전류 복원 시 발생하는 측정 불가영역을 극복하기 위한 방법으로 상 전류 복원에 초점을 맞춘다. 그에 따라 소음 발생과 저속에서 복원이 어려운 단점을 가진다. 본 논문에서는 저소음으로 저속영역까지 모터 구동하는 알고리즘을 제안한다.

2. Single-Shunt-Sensor Technologies

Fig. 1에는 3상 인버터의 각 IGBT의 switching 조합에 따른 전압 벡터를 표시하고 있다. Upper arm IGBT가 모두 on인 (111)과 lower arm IGBT가 모두 on인 (000)의 zero vector가 2개 존재하며, 6개의 active vector가 존재한다. Active vector가 모터에 인가되면 직류단으로 부터 모터에 전류가 흘러가게 된다. Fig. 2은 active switching vector (100)가 인가되었을 경우 모터에 흐르는 전류를 나타낸다. (100)이 인가되었을 경우 모터의 A상으로 전류가 흘러 들어가고, B, C상으로는 나오게 된다. 그러므로 직류단

하단에 부착되어 있는 shunt 저항에는 Ia 전류가 흐르게 된다. 이처럼 active vector가 인가될 경우 shunt 저항에 흐르는 전류로부터 모터 전류를 복원할 수 있다

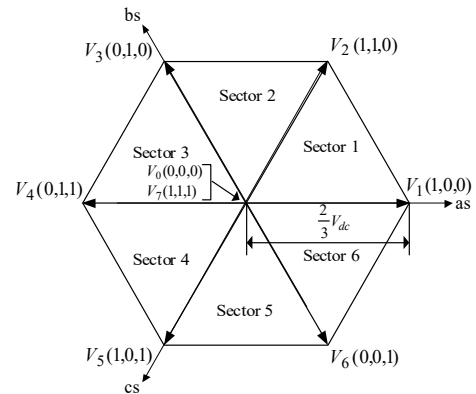


Fig. 1 SVPWM 육각형과 조합가능 벡터

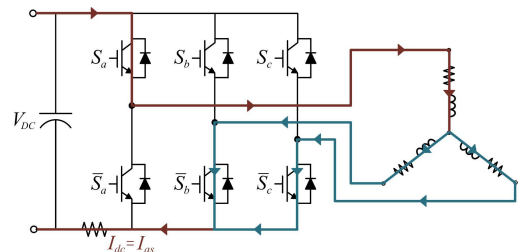


Fig. 2 switching 패턴(100)인가시 상 전류

3. Limitation of single current sensor

직류단 shunt 저항을 이용한 전류복원은 active vector 구간에서 직류단 shunt저항에 흐르는 전류를 감지하여 상 전류를 복원하는 것이 기본원리이다. 만약 active vector 인가 시간이 짧을 경우 정확한 전류 감지가 불가능하다. shunt저항에 흐르는 직류단 전류 측정을 위한 최소한의 유효 벡터 인가시간은 식(1) 같이 계산된다.

$$T_{\min} = T_{\text{dead}} + T_{\text{set}} + T_{A/D} \quad (1)$$

현재 사용 중인 인버터에서는 데드타임이 2.7us 이며, 세틀링타임은 2.3us, A/D변환시간은 2.2us 이므로 유효 벡터가 최소한 7.2us 이상은 인가되어야만 정상적으로 shunt 저항의 전류를 검출 할 수 있다. SVPWM 육각형에서 유효 벡터가 T_{\min} 보다 작게 인가되는 구간을 표시하면 Fig. 3와 같이 2개의 Case로 측정 불가영역을 나눌 수 있다.

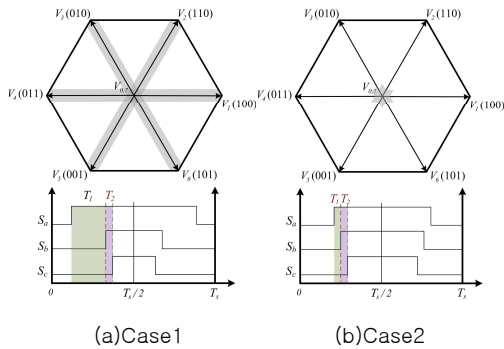


Fig. 3 Shunt 저항을 이용한 전류 복원 방법의 측정 불가영역

4. Limitation of single current sensor

4.1 Current estimation method (Case1)

Fig. 3 (a)Case1 같은 측정 불가능한 영역에서는 한 전류만 측정을 위한 최소한의 유효 벡터 인가시간이 충분하지 않다. 그래서 한 전류만 수식을 이용해서 추정하며, 나머지 2전류는 shunt 저항과 식(2)을 이용해서 3상 전류를 복원할 수 있다. Case1영역에서 전류를 추정하는 방법은 기존에 전류를 복원하는 방법인 Voltage split method의 소음이 발생하는 단점을 보완하였다. 이 알고리즘은 Current estimation method[5]이며, 인버터 switching 패턴에 따라 등가회로를 나타낼 수 있고 그 등가회로 따라 전류의 기울기를 수식적으로 추정할 수 있다. 표1은 switching 패턴에 따라 전류의 기울기를 수식으로 나타냈다. 전류의 초기값, 역기전압, 입력 전압과 parameter 를 알고 있다면 전류를 추정할 수 있다. 하지만 저속에서는 초기값을 알 수 없기 때문에 전류를 추정하는데 무리가 있다.

$$I_{as} + I_{bst} + I_{cs} = 0 \quad (2)$$

Vector	Current slope	Vector	Current slope
(000)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-V_a}{L}\right)$	(001)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-3V_a - V_{dc}}{3L}\right)$
(100)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-V_a + 2V_{dc}}{3L}\right)$	(010)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-3V_a - V_{dc}}{3L}\right)$
(110)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-3V_a + V_{dc}}{3L}\right)$	(011)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-3V_a - 2V_{dc}}{3L}\right)$
(111)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-V_a}{L}\right)$	(101)	$\frac{di_a}{dt} = \left(\frac{-3V_a + V_{dc}}{3L}\right)$

V_a = 역기전압, L = 인덕터, V_{dc} = 입력전압

<표1> switching 패턴에 따른 전류 기울기

4.2 Observer method (Case2)

Fig. 4 은 저속에서 전류를 추정하기 위한 알고리즘으로 Observer method 구조를 나타낸다. Observer method은 실제 위치 값과 추정 위치 값의 오차를 궤환하여 최종적으로

오차를 “0”으로 수렴이 될 때 T_c 로 부터 전류를 추정할 수 있다. 여기서 비례 이득 행렬 I_1, I_2, I_3 을 설정하는 것이 관측기 설계의 관건이다. \hat{B} : 마찰계수 \hat{J} : 관성계수

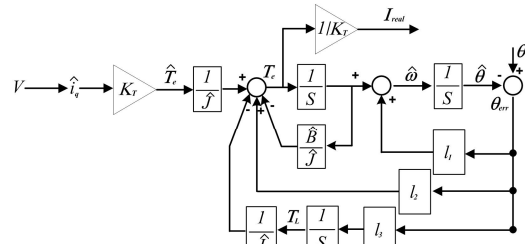


Fig. 4 전류 추정을 위한 Observer 구조

4. Conclusion

본 논문은 모터제어를 위해 직류단 single current sensor로 저속영역으로 저속영역까지 전류 복원하는 방법을 제안하고 있다. 제안된 알고리즘은 비용절감과 토크맥동을 제거 할 수 있으며 현재 가전제품에 적용하여 비용적 경쟁에서 앞서 나갈 수 있다.

Acknowledgment

이 논문은 2012년도 정부재원(지역혁신 인력 양성 사업) 한국 연구재단의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

Reference

- [1] F. Blaabjerg, J.K Pederson, U. Jaeger, and P. Thøgersen "Single current sensor technique in the DC link 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.
- [2]W.-C. Lee, D.-S. Hyun, and T.-K. Lee, “A novel control method for three phase PWM rectifiers using a single current sensor,” IEEE Trans. Power Electronics., vol. 15, no. 5, pp. 861–870, Sep. 2000.
- [3] J.-I. Ha, “Voltage injection method for three-phase current reconstruction in PWM inverters using a single sensor,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 3, pp. 767–775, Mar. 2009.
- [4] Tomigashi, Y, Hida, H, and Ueyama, K, “Voltage vector correction based on a novel coordinate transformation for motor current detection using a single shunt resistor,” Power Electronics and Applications, EPE ’09.13th European Conference, pp.1-8, Sep. 2009.
- [5] Dong Jiang, Fei Wang “Study of Analytical Current Ripple of Three-Phase PWM converter” IEEE Trans . APEC., pp1568-1575 Mar. 2012