

# 직류단 션트 저항을 이용한 SVPWM의 전류 측정 불가능 영역에서의 추정 기법

김광식, 김동윤, 문종주, 최경용, 김형섭, 김장목  
부산대학교 전자전기컴퓨터공학과

## A Current Estimation method using dc-link shunt resistor in unmeasurable region of SVPWM

Kim Kwang Sik, Kim Dong Youn, Moon Jong Joo,  
Choe Gyeong Yong, Kim Hyung Seop, Kim Jang Mok

Department of Electronics and Electrical Engineering, Pusan National University

### ABSTRACT

본 논문은 3상 인버터에서 직류단 션트 저항을 이용하여 전류를 복원하는 새로운 기법에 대하여 제안한다. 직류단 션트 저항을 이용하여 전류를 측정할 경우, 전동기의 구동에 따른 지령 전압 벡터의 변화에 따라 SVPWM hexagon 내부에는 전류의 측정이 불가능한 영역이 존재한다. 기존의 방법들은 지령 벡터가 전류 측정이 불가능한 영역에 위치할 때, 스위칭 패턴에 변화를 주는 방법들을 이용하였다. 그러나, 이 기법들은 스위칭 패턴을 바꾸기 때문에 소음 및 전류 왜곡의 원인이 된다. 본 논문에서는 스위칭 패턴의 변화 없이 전류를 추정할 수 있는 새로운 기법을 소개한다. 제안된 알고리즘의 효율성은 실험적 결과를 통해 증명한다.

### 1. 서론

3상 AC모터의 제어 시, 일반적으로 2개의 전류 센서를 이용하여 3상의 전류를 획득한다. 2상의 전류를 알고 있다면, 3상 전류의 합은 0이라는 점을 이용하여 나머지 전류를 구할 수 있다. 만약, 3상의 전류의 정보를 dc-link shunt 저항만으로 획득이 가능하다면, 전류 센서 및 주변 회로의 감소로 인해 전체 시스템의 가격이 감소할 것이다. 또한, 다수의 전류 센서에 의해 발생할 수 있는 offset 및 scale 에러도 사라진다. SVPWM방식에서 dc-link shunt 저항을 이용하여 3상 전류를 획득 시 dc-link단에 흐르는 전류의 감지에 필요한 시간보다 짧은 유효 벡터가 발생할 경우, SVPWM hexagon 내부에 전류의 측정이 불가능한 지역이 존재한다. 이런 영역들에서 전류의 복원을 위한 기법들이 연구 중이다[1]-[4]. 본 논문에서는 PWM인버터의 스위칭 패턴에 따른 등가회로를 통하여 전류를 추정하는 새로운 기법을 제안한다. 등가회로의 수식적인 해석을 통하여, 측정 불가능한 상 전류를 추정하여 복원한다. 제안한 알고리즘의 타당성은 실험을 통하여 증명하였다.

### 2. 제안한 전류추정 알고리즘

#### 2.1 dc-link shunt 저항을 이용한 전류 측정 기법

그림1의 모터 드라이브 시스템은 PWM 인버터, AC 모터, 그리고 DC-link단으로 흐르는 전류를 측정하기 위한 DC-link shunt 저항으로 구성되어있다. 인버터 스위치의 상태로

만들어지는 8개의 유효 벡터에 따라서 DC-link shunt 저항을 통하여 흐르는 상 전류는 테이블1과 같다. 그리고 이 관계를 이용하여 SVPWM에서의 유효 벡터 인가 시 해당하는 상 전류의 복원이 가능하다. 하나의 션트 저항을 이용하여 전류를 측정하기 위해서는 DC-link 단으로 흐르는 전류의 감지를 위한 최소한의 유효 벡터 인가시간( $T_{min}$ )이 필요하다. 이 시간은 다음과 같이 계산된다.

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

$T_{dead}$ 는 PWM의 데드타임 시간,  $T_{set}$ 은 세틀링타임,  $T_{A/D}$ 는 A/D 변환 시간이다. 유효 벡터가  $T_{min}$ 보다 작게 인가되는 구간을 데드 밴드라 정의하며, 이 데드 밴드 영역에서는 상 전류의 측정이 원활하게 이루어지지 않으므로, 전류의 복원을 위한 특별한 방법이 요구된다.

Table1. 스위칭 상태에 따른 dc-link단에 흐르는 상전류

유효 벡터	$V_1$ (100)	$V_2$ (110)	$V_3$ (010)	$V_4$ (011)	$V_5$ (001)	$V_6$ (101)	$V_0, V_7$ (000), (111)
DC-link 전류	$I_{as}$	$-I_{cs}$	$I_{bs}$	$-I_{as}$	$I_{cs}$	$-I_{bs}$	Not available

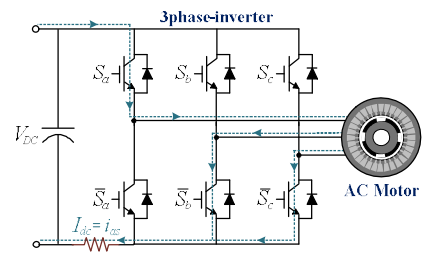


그림1. DC-link shunt저항을 지닌 PWM 인버터

#### 2.2 dc-link shunt 저항 이용 시 전류 측정 불가능 영역

그림2는 전류 측정이 불가능한 데드 밴드 영역과 6개의 유효 벡터를 포함한 SVPWM hexagon을 나타낸다. 그림2(a)의 영역1은 두 개의 상 전류 중 하나의 상 전류만 측정이 가능한 영역으로, 전동기의 운전 시 하나의 유효 벡터가 크게 나갈 때 발생하므로 어느 속도, 전압에서도 발생하게 된다. 영역2는 전동기에 인가되는 전압 자체가 작아서 발생하는 영역으로, 두 개의 상 전류 모두 측정이 불가능하다. 본 논문에서는 영역1의

경우 나머지 한 상을 복원하는 방법에 대하여 다룬다. 그림2(a)와 같이 지령 벡터가 전류 측정이 불가능한 영역1에 존재할 때 해당하는 PWM 스위칭 시퀀스는 그림3과 같다. 테이블 1을 참조하면, (100)스위칭 상태의 a상 전류는  $T_1$ 이  $T_{min}$ 보다 길기 때문에 측정이 가능하다. 하지만, (101)스위칭 상태의 b상 전류는 dc-link단을 흐르는 전류의 감지 시간이 부족하기 때문에 정확하게 측정되지 않는다. b상 전류의 정보를 얻기 위해서는 전류를 추정할 수 있는 방법이 필요하다.

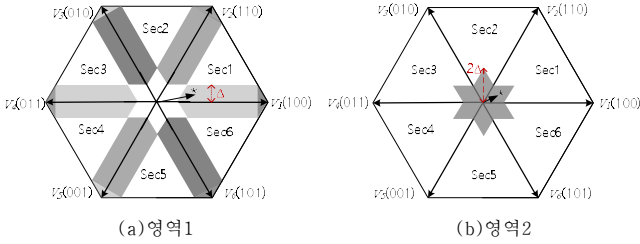


그림2. 전류 측정 불가능한 영역

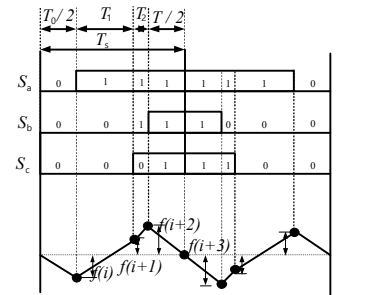


그림3. 영역1에서의 PWM 스위칭 시퀀스

### 2.3 제안한 전류 추정 알고리즘

그림 3과 같이 유효 벡터가 발생할 때, B상의 전류를 획득하기 위해서는 SVPWM 한 주기 동안 나타나는 (000) - (111) 스위칭 상태에서의 등가회로를 순차적으로 계산하여야 한다. 계산에 필요한 등가회로를 그림4에 나타내었다. 회로 해석을 통하여 (100)상태에서의  $i_b$  전류를 구할 수 있다. 식 (2) ~ (5)는 (000) - (111) 상태까지 각 단계별로 계산된 b상 전류의 값을 나타내며, 이전 상태에서 나온 전류 값은 나중 상태에서의 전류 초기 값이 된다. 식 (5)의 값이 PWM 한 주기에서의 최종적인 b상 전류 값이다.

$$i_b(n) = \left(\frac{-V_b}{L}\right) \frac{T_0}{2} + i_b(0) \quad (2)$$

$$i_b(n+1) = \frac{-3V_b - V_{dc}}{3L} T_1 + i_b(n) \quad (3)$$

$$i_b(n+2) = \frac{-3V_b - 2V_{dc}}{3L} T_2 + i_b(n+1) \quad (4)$$

$$i_b(n+3) = \left(\frac{-V_b}{L}\right) \frac{T_0}{2} + i_b(n+2) \quad (5)$$

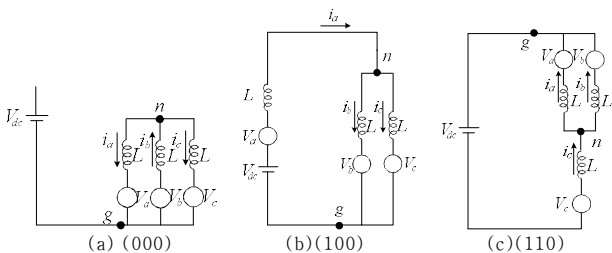


그림4. 그림3 스위칭 상태에서의 인버터 및 AC모터의 등가회로 모델

### 3. 실험 결과

그림5는 제안한 알고리즘의 유·무에 따른 상 전류를 비교한 실험 파형이다. 그림 5의 각 파형의 위쪽은 전류 센서를 이용하여 측정된 파형이고, 아래쪽 파형은 DC-link shunt 저항을 이용하여 추정된 전류이다. 그림. 5(a)는 전류 추정 알고리즘을 사용하지 않고 전류를 측정한 것이고, 그림. 5(b)는 제안한 전류 추정 알고리즘을 이용한 것이다. 전류 추정 알고리즘을 이용하지 않으면, 상 전류가 왜곡되는 것을 볼 수 있다. 제안된 전류 추정 방식은 전류 센서를 이용하여 측정된 상 전류와 동일하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

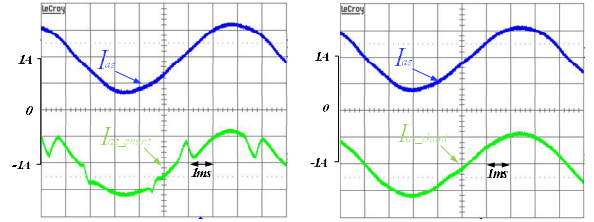


그림 5. 알고리즘 유·무에 따른 실험 파형

### 4. 결론

본 논문에서는, dc-link shunt 저항을 이용한 새로운 전류 추정 방법이 제시되었다. 제시된 알고리즘의 특징은 상 전류의 측정이 불가능한 영역1에서 인버터 및 AC모터의 등가회로를 이용하여 전류를 추정하는 것이다. 이 알고리즘은 SVPWM에서의 스위칭 패턴의 변화 없이 일반화된 전류 방정식을 이용하여 전류의 추정이 가능하다. 제안된 전류 복원 방법의 효율성을 실험을 통하여 증명하였다.

이 논문은 2012년도 정부재원(지역혁신 인력 양성 사업) 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. NRF-2012H1B8A2026153)

### 참고 문헌

- [1] Jee-Sang Lee, "An overmodulation method for space vector PWM inverters with dc-link shunt resistor", ICPE & ECCE, pp. 1997-2004, 2011. June.
- [2] 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.
- [3] Dong Jiang, Fei Wang "Study of Analytical Current Ripple of Three-Phase PWM converter" IEEE Trans. APEC, pp. 1568-1575, 2012. Mar.
- [4] Woo-Cheol Lee, "Comparison of Single-Sensor Current Control in the DC- Link for Three-Phase Voltage-Source PWM Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 48, No.3, pp.491-505, June, 2001
- [5] Dong-Choon Lee, "AC voltage and current sensorless control of three-phase PWM rectifiers", Power Electronics, IEEE Trans., vol. 17, Np. 6, pp.883-890, Nov, 2002