

단일 전류 센서를 이용한 2상 하프브릿지 인버터의 상전류 측정 방법

조영훈*, 목형수**, 장도현***, 김상훈****

현대모비스 기술연구소*, 건국대학교 전기공학과**, 호서대학교 전기공학과***, 강원대학교 전기공학과****

A Novel Current Measurement Method for Two-Phase Half-bridge Inverter using Single Current Sensor

Younghoon Cho*, Hyungsoo Mok**, Sanghoon Kim***, Dohyun Jang****

Technical Research Institute, Hyundai MOBIS*

Department of Electrical Engineering, Konkuk University**

Department of Electrical Engineering, Hoseo University***

Department of Electrical Engineering, Kangwon National University****

ABSTRACT

This paper proposed a novel current measurement method for two-phase half-bridge inverter using single current sensor. The proposed method measures DC link input current and a phase current simultaneously and reconstructs each phase currents by simple calculation according to voltage vector. The commutation modes of two-phase half-bridge inverter is analyzed. The current sampling and reconstructing method is also presented. The proposed method is verified through simulation and experimental results on two-phase induction motor drive system.

1. 서 론

2상 하프브릿지 인버터를 이용한 2상 전동기 구동 시스템은 교류 전동기의 가변속 구동을 위한 가장 경제적인 방법 중 하나로써 이에 관한 다양한 연구들이 현재 진행중이다[1-2]. 2상 하프브릿지 인버터의 토폴로지는 4개의 스위치를 이용하여 교류 전압을 합성하며 구조가 단상 풀브릿지 인버터와 비슷하다. 그러나 DC 링크단에 두 개의 캐패시터를 직렬로 연결하여 가운데 접점으로 중성분 전류가 흐른다는 것이 큰 차이점이다.

2상 전동기 구동 시스템에서 전동기의 토크 제어를 위한 전류 측정은 필수적이며 두 상의 전류를 측정하기 위하여 일반적으로 두 개의 전류 센서를 이용한다. 그러나 이와 같이 두 개의 전류 센서를 이용할 경우 각 센서의 특성 차이로 인하여 전동기에 토크 리플을 유발시킬 수 있으며, 전체적인 시스템 가격을 증가시키는 요인이 된다. 특히 2상 전동기 구동 시스템의 주된 응용 분야가 저가의 소용량 시스템을 감안할 때 전류 센서 부분의 비용절감은 반드시 요구되는 부분이다. 3상 전동기 구동 시스템의 경우 DC 링크단에 전류 센서를 하나만 사용하여 3상의 전류를 측정하는 방법은 다수의 연구가 진행되어 왔고 실제로 산업계에서 많이 응용되고 있다 [3-4]. 그러나 2상 전동기 구동 시스템의 경우 제어 방법 및 PWM 전략에 관한 연구들이 대다수이며 단일 전류 센서를 이용한 전류 측정 방법은 현재까지 연구가 진행되지 않고 있다.

앞에서 언급했듯이 2상 하프브릿지 인버터는 캐패시터 접점

을 통하여 중성분 전류가 흐르므로 각 레그를 통해서 나가는 전류의 크기와 위상에 차이가 있다. 따라서 기존의 단상 풀브릿지 인버터의 단일 전류 센서 검출 방법을 적용할 수 없다.

본 논문에서는 2상 전동기의 가변속 구동을 위한 2상 하프브릿지 인버터의 단일 전류 센서를 이용한 전류 측정 방법을 제안한다. 제안한 방법은 DC 링크단과 한 상의 전류를 동시에 측정하고 전압 벡터의 상태에 따라 간단한 연산을 통해 두 상 전류를 복원한다. 제안한 방법은 일반적인 홀 타입 전류 센서로 쉽게 구현이 가능하다. 제안된 방법에 관하여 모의 실험과 실제 실험을 수행하였고 그 결과 제안된 방법이 효과적으로 두 상의 상전류를 측정할 수 있음을 확인하였다.

2. 2상 하프브릿지 인버터의 전류 검출 방법

2.1 2상 하프브릿지 인버터의 도통 모드 분석

그림 1은 2상 하프브릿지 인버터의 토폴로지이다. 2상 하프브릿지 인버터는 4개의 스위치를 가지고 있어 단상 풀브릿지 인버터와 비슷한 구조를 가지고 있으나 DC 링크단에 두 개의 전압원을 취하고 있고 그 가운데 접점을 통하여 부하측의 중성분 전류가 흐른다는 것이 차이점이다. 그림 2에는 스위칭 함수에 따른 2상 하프브릿지 인버터의 도통 모드 분석에 관하여 나타

내었다. 그림 2에서 $\bar{u}_c, \bar{u}_d, \bar{i}_a, \bar{i}_b, \bar{i}_{an}, \bar{i}_{bn}$ 은 각각 DC 링크전압, DC 링크단에서 스위치로 입력되는 전류, a상 상전류, b상 상전류, 전류 센서를 통해서 측정된 a상 상전류, 전류 센서를 통해서 측정된 b상 상전류이다.

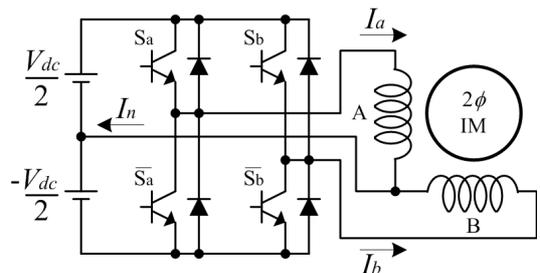


그림 1 2상 하프브릿지 인버터의 토폴로지
Fig. 1 Topology of two-phase half-bridge inverter

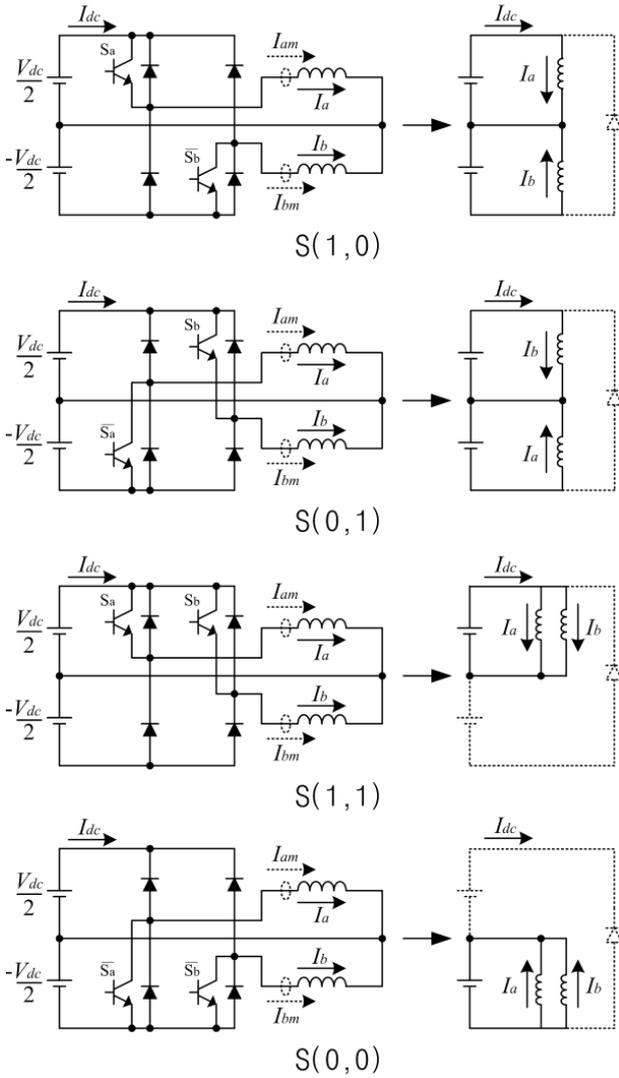


그림 2 2상 하프브릿지 인버터의 도통 모드 분석
Fig. 2 Analysis of commutation mode for two-phase half-bridge inverter

구동해야 할 2상 전동기가 완전한 대칭이고 회전 방향을 고려하지 않는다면 전동기 구동시의 a상과 b상 전류를 다음과 같은 시간의 함수로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I_a &= -K \sin(\omega t) \\ I_b &= K \cos(\omega t) \end{aligned}$$

일반적인 3상 전동기는 세 상의 합이 항상 0이 되므로 두 상의 전류만 측정하면 나머지 한 상의 전류를 구할 수 있지만 2상 전동기의 경우 상기 식에서 보는 바와 같이 $I_a + I_b \neq 0$ 이므로 한 상의 전류만 측정하는 것으로는 다른 상의 전류를 알 수 없다. 따라서 한 개의 전류 센서로 두 상의 전류를 모두 측정하기 위해서는 별도의 기법이 필요하다. 이를 위해 3상 인버터 시스템에서와 같이 DC 링크단에 전류 센서를 하나만 장착해서 스위칭 함수와 DC 링크 입력 전류와의 관계를 나타내면 표 1과 같다. 표 1에 나타나 있듯이 DC 링크 입력 전류는 스위칭 함수에 따라 a상과 b 상의 전류 정보를 모두 포함하고 있으므로, 상 전류 복원을 위한 기본적인 정보를 제공하고 있음을 알 수 있다.

표 1 스위칭 함수와 DC 링크 입력 전류값의 상관관계

Table 1 Relationship between switching function and DC link input current

스위칭 함수 (S _a , S _b)	DC 링크 입력 전류값
S(1,0)	I_a
S(0,1)	I_b
S(1,1)	$I_a + I_b$
S(0,0)	0

일반적인 2상 전동기 구동 시스템에서 사용하는 삼각과 캐리어를 가지는 SPWM 기법을 사용할 경우를 가정하면, 스위칭 함수 S(1,0)과 S(0,1)은 인가 전압 벡터에 따라서 부분적으로 나타난다. 따라서 S(1,0), S(0,1)에서 전류를 측정하기 위해서는 PWM 전략의 수정이 불가피 하다. 또한 S(1,1), S(0,0)은 한 PWM 스위칭 주기에서 전압 변조 지수가 최대나 최소가 되지 않는 한 주기적으로 반드시 나타나는 함수이지만 각각 상전류의 합이나 0을 나타내므로 이를 이용하여 직접 두 상 상전류의 값을 각각 복원하기는 불가능하다.

2.2 제안하는 단일 전류 센서 검출 방법

그림 3은 본 논문에서 제안하는 단일 전류 센서 검출 방법을 나타낸다. 제안하는 방법은 두 상의 전류를 측정하기 위하여 한 상의 전류와 DC 링크 입력 전류를 동시에 측정하며 이 값은 $I_{dc} = I_a + I_b$ 로 나타낼 수 있고, 이는 일반적인 홀타입 전류 센서로 쉽게 구현할 수 있다. 이와 같이 측정할 경우 스위칭 함수와 전류 센서를 통해 측정된 전류값 I_{dc} 사이에는 표 2와 같은 관계가 성립하며 S(1,1), S(0,0)에서 각각 a상과 b 상의 전류가 독립적으로 나타난다. 따라서 S(1,1), S(0,0)에서 I_{dc} 을 검출하면 다음과 같은 식에 의해 a, b 두 상의 전류를 복원해 낼 수 있다.

$$S(1,1) \text{ 일 경우 : } I_b = I_{dc} - I_a$$

$$S(0,0) \text{ 일 경우 : } I_a = I_{dc} - I_b$$

표 2 제안된 방법을 이용할 경우의 측정 전류값

Table 2 Relationship between switching function and sensed current with proposed method

스위칭 함수 (S _a , S _b)	측정 전류 값 I_{dc}
S(1,0)	0
S(0,1)	$I_b - I_a$
S(1,1)	I_b
S(0,0)	$-I_a$

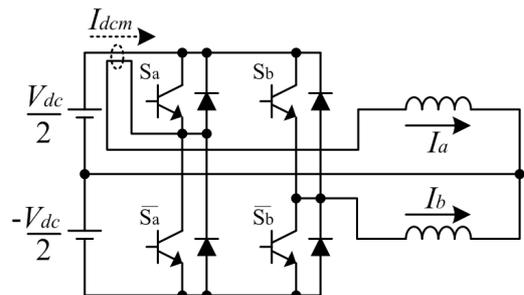


그림 3 제안하는 단일 전류 센서 검출 방법
Fig. 3 Proposed current sensing method

S(1,1) 과 S(0,0) 은 한 PWM 주기에서 모두 나타나므로 제어 시스템에서 한 주기에 두 번 전류를 주기적으로 검출하면, 전압 벡터와 관계없이 두 상의 전류를 측정할 수 있다. 따라서 이와 같이 제안한 방법으로 전류를 검출하면 한 개의 전류 센서로 2상 하프브릿지 인버터의 두 상의 전류를 검출할 수 있다. 또한 전압 벡터의 크기에 따라 전류 검출 시점이 달라지는 3상의 경우와 달리 제안한 방법에서는 검출 시점이 주기적이므로 디지털 제어 시스템의 S/W 구조가 단순해진다는 장점이 있다.

3. 모의 실험 및 실험 결과

제안한 방법에 관하여 0.75kW 급 2상 유도 전동기 구동 시스템을 대상으로 하여 모의 실험과 실제 실험을 실시하였다.

3.1 모의 실험

그림 4는 제안한 방법에 관한 모의 실험 결과를 나타낸다. 그림 4(a)에서 i_a , i_b , i_{dm} , i_{am} , i_{bm} 은 각각 a상 상전류, b상 상전류, 제안한 방법에 의한 전류 센서 출력값, 복원한 a상 상전류, 복원한 b상 상전류값을 나타낸다. 그림 4(b)에는 제안한 방법의 전류 검출 시점을 나타내었다.

3.2 실험 결과

그림 5는 제안한 방법을 이용하여 실제 전류를 측정하는 결과를 나타내었다. 그림 5(a)는 실제 a상과 b상 전류 그리고 제안한 방법에 의한 전류 측정값을 모니터링 한 결과이다. 그림 5(b)는 실제 전류 센서 측정값과 복원한 a상 및 b상 전류값을 나타낸다. 상기 모의 실험 및 실험 결과로부터 제안한 방법이 두 상의 전류를 효과적으로 잘 측정하고 있음을 알 수 있다.

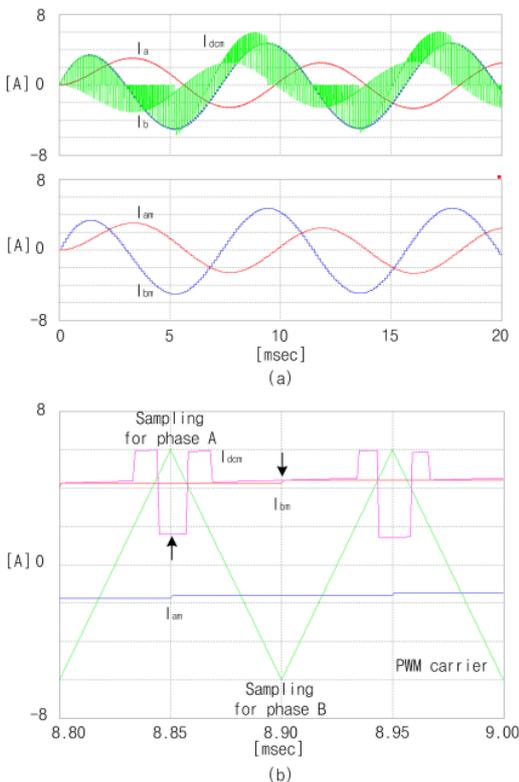


그림 4 모의 실험 결과
Fig. 4 Simulation result

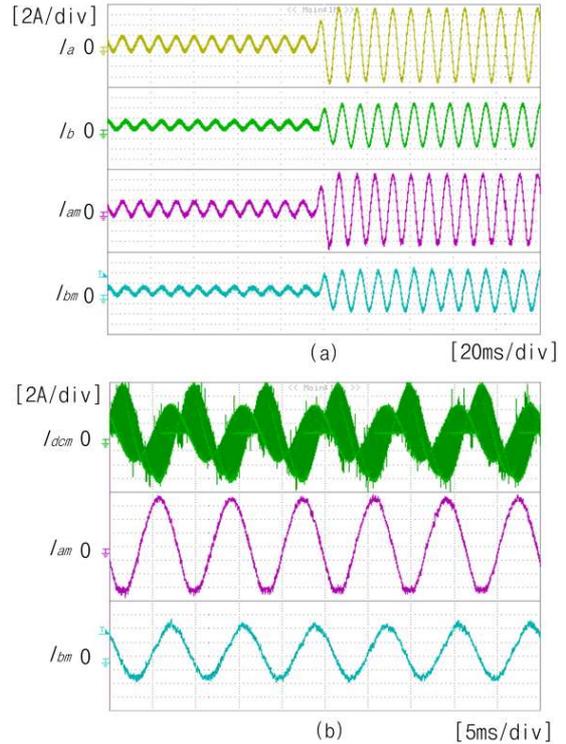


그림 5 실험 결과
Fig. 4 Experimental result

4. 결론

본 논문에서는 2상 하프브릿지 인버터의 단일 전류 센서를 이용한 상전류 검출방법을 제안하였다. 제안한 방법은 실제 구현 및 전류 검출값 복원 과정이 매우 간단하여 경제적인 2상 전동기 구동 시스템을 구성하는데 유용하다. 또한 3상 인버터의 단일 전류 검출 방법과 달리 전류를 주기적으로 검출하여 제어기의 구성이 용이하며 전압 벡터의 크기가 작은 경우에도 우수한 전류 측정 성능을 나타낸다. 0.75kW 급의 2상 유도 전동기 구동 시스템을 대상으로 모의 실험과 실제 실험을 실시하여 제안한 방법의 효과를 입증하였다.

참고 문헌

- [1] D.H.Jang and D.Y.Yoon, "Space-Vector PWM Technique for Two-Phase Inverter-Fed Two-Phase Induction Motors," in IEEE Trans. on IA, Vol. 39, No. 2, March/April 2003.
- [2] M.B.R.Correa, C.B.Jacobina, A.M.N.Lima and E.R.C.da Silva, "Field Oriented Control of a Single-Phase induction motor drive," Conf. Rec. of IEEE PESC, pp. 990-996, 1997.
- [3] D.W.Chung and S.K.Sul, "Analysis and Compensation of Current Measurement Error in Vector-Controlled AC Motor Drives," in IEEE Trans. on IA, Vol. 34, No. 2, March/April, 1998.
- [4] F.Blaabjerg, J.K.Pedersen, U.Jaeger and P.Thoegersen, "Single Current Sensor Technique in the DC Link of Three-Phase PWMVS Inverters: A Review and a Novel Solution," in IEEE Trans. on IA, Vol. 33, No. 5, 1997.