

2상 유도전동기를 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터

김동기, 윤덕용
공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

3-Leg Vector Controlled 2-Phase Inverter for 2-Phase Induction Motor

Dong Ki Kim, Duck Yong Yoon
Kongju National University

ABSTRACT

본 논문에서는 가전제품과 같은 저전력 응용분야에 효과적으로 적용이 가능한 2상 유도전동기 벡터제어 인버터를 제안한다. 현재까지 이 분야에서는 가격이 저렴하지만 속도제어가 용이하지 않은 단상 유도전동기를 사용해왔다. 2상 유도전동기 벡터제어는 3상 유도전동기 벡터제어에 버금가는 우수한 제어 성능을 가지고 있으면서도 좌표변환이 불필요하여 제어기의 부담을 줄일 수 있고, 전체 시스템을 저가격으로 구현할 수 있으므로 이러한 저전력 응용분야에서 단상 유도전동기에 대한 훌륭한 대안이 될 수 있다. 본 논문에서는 360[W]급의 소용량 2상 유도전동기를 위한 3레그형 2상 벡터제어 인버터를 설계하였고, 실험을 통하여 시스템의 유효성을 검증한다.

1. 서 론

오늘날 유도전동기는 구조가 간단하고 기계적으로 견고하며, 가격이 저렴하다는 장점들로 인하여 가정용과 산업용 응용분야에 널리 사용되고 있다. 이것은 전동기의 입력 전원에 따라 단상 유도전동기(SPIM ; Single Phase Induction Motor)와 3상 유도전동기(3PIM ; 3 Phase Induction Motor)로 구분되며, 그 중에서도 SPIM은 단상 전원을 사용하는 가전제품과 같은 저전력 응용분야에 주로 사용된다.

SPIM의 일반적인 속도제어는 양방향 사이리스터를 사용하여 전압의 크기를 제어하는데, 이 방법은 전동기 입력전압의 고조파 성분이 크고 속도제어 범위가 좁으며, 효율이 낮고 역률이 나빠지는 등의 여러 가지 단점을 가지고 있다.^[1] 특히 SPIM은 자기기동이 불가능하므로 주권선과 90°의 위상차나 보조권선을 설치하고 여기에 직렬로 커패시터를 연결하여 기동토크를 발생시킨다. 이러한 SPIM은 기동에 필요한 보조권선으로 인해 이론상 비대칭 2상 유도전동기가 되며, 이것에 대한 고성능 제어는 권수비를 조정하여 벡터제어를 수행하는 방법이 연구되기도 하였으나^[2], 이는 주권선과 보조권선의 위상차로 인하여 정확한 벡터제어가 수행되지 못한다.^[3] 따라서, 벡터제어를 수행하기 위해서는 반드시 보조권선을 주권선과 동일한 권선으로 대칭 분포시켜야 하는데, 이렇게 하면 이것은 2상 유도전동기(2PIM ; 2 Phase Induction Motor)가 된다.

그동안 연구되어 온 SPIM 및 2PIM을 위한 대표적인 인버터 토폴로지는 2레그형, 3레그형, 4레그형이 있다.^[1] 2레그형은 4개의 스위치만을 사용하여 가장 경제적이지만 2개의 커패시터에 의한 전압 불균형 문제가 발생할 수 있고, 영벡터가 없기

때문에 SVPWM(Space Vector PWM)의 구현이 까다롭다. 3레그형은 6개의 스위치를 사용하여 기본 구조는 3상 인버터와 같으며, 영벡터가 존재하므로 SVPWM의 구현이 비교적 용이하다. 4레그형은 성능이 가장 우수한 것으로 알려져 있지만, 8개의 스위치를 사용하여 가격이 높고 제어 시스템이 복잡해지므로 저가형 인버터로 사용하기에는 부적합하다.

따라서, 본 논문에서는 3레그형 2상 벡터제어 인버터를 설계하여 360[W]급의 소용량 2PIM에 적용하였고, 이것이 3PIM의 벡터제어 인버터에서처럼 우수한 벡터제어 성능을 나타내는 것을 실험으로 확인한다.

2. 3레그형 2상 벡터제어 인버터

2.1 하드웨어의 구성

본 논문에서 구현한 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 구성은 그림 1과 같다. 입력단 정류회로에는 다이오드 모듈을 사용하였고, 인버터 회로에는 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하였으며, 제어기로는 고성능의 저가형 ARM Cortex M4 마이크로컨트롤러인 STM32F407VET6을 사용하였다.

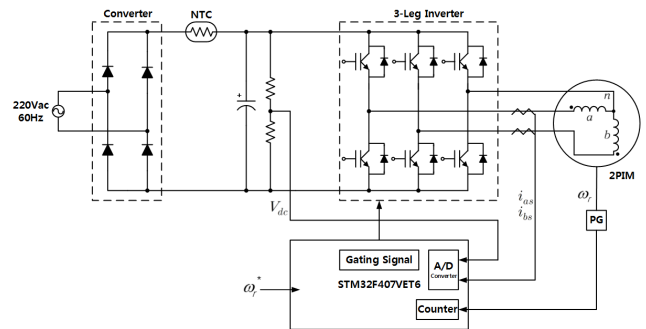


그림 1 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 구성
Fig. 1 Vector controlled 2-phase inverter with 3-leg switch

2.2 3레그형 2상 벡터제어 인버터의 SVPWM 기법

본 논문에서는 응답특성이 우수하고 출력전류의 고조파 성분이 적은 SVPWM을 사용하였다. 3레그형 2상 인버터의 출력전압 벡터는 그림 2와 같이 비대칭 육각형의 형태이며, 최대 출력전압은 $V_{dc}/\sqrt{2}$ 로서 3상 SVPWM에 비하여 22.5%가 증가한다. 이제 한 샘플링 주기 내에 1섹터에 대해서 전압벡터 $V(1)$ 과 $V(2)$ 를 인가하는 시간 T_1 및 T_2 그리고 영벡터를 출력하는 시간 T_0 을 계산하면 식 (1)과 같다.

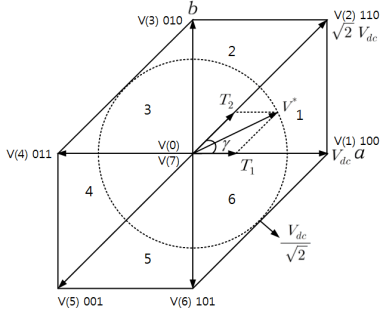


그림 2 3레그형 2상 인버터의 출력전압 벡터
Fig. 2 Output voltage vectors of 3-leg 2-phase inverter

$$T_1 = \frac{\sqrt{2} T_s |V^*|}{V_{dc}} \sin\left(\frac{\pi}{4} - \gamma\right)$$

$$T_2 = \frac{T_s |V^*|}{V_{dc}} \sin\gamma$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2)$$

단, 여기서 γ 는 $0 \leq \gamma \leq \pi/4$ 의 범위를 갖는다.

이제 모든 섹터에 대해서 현재의 기준전압이 어느 섹터에 위치하고 있는지를 먼저 결정해야 하는데, 이를 위해 고정좌표계에서의 기준전압 벡터로부터 다음과 같이 회전각 θ 를 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_{bs}^*}{V_{as}^*}$$

그러나, 일반적으로 마이크로프로세서에서 역삼각함수를 연산하려면 오랜 시간이 걸리기 때문에 다음과 같은 간단한 비교 기법으로 현재의 섹터를 결정하는 것이 바람직하다.

- ① $V_{as}^* \geq 0, V_{bs}^* > 0$ 의 경우 섹터는 1 또는 2에 해당된다.
 섹터 1의 결정: $V_{as}^* \geq V_{bs}^*$
 섹터 2의 결정: $V_{as}^* < V_{bs}^*$
- ② $V_{as}^* < 0, V_{bs}^* \geq 0$ 의 경우 섹터는 3에 해당된다.
- ③ $V_{as}^* \leq 0, V_{bs}^* < 0$ 의 경우 섹터는 4 또는 5에 해당된다.
 섹터 4의 결정: $V_{as}^* \leq V_{bs}^*$
 섹터 5의 결정: $V_{as}^* > V_{bs}^*$
- ④ $V_{as}^* > 0, V_{bs}^* \leq 0$ 의 경우 섹터는 6에 해당된다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제어 프로그램은 C언어로 작성하였고, 하드웨어 개발 툴로는 저가형 에뮬레이터인 ST LINK/V2를 사용하였다. 2PIM을 1/2부하 상태에서 기준속도를 +1200[rpm]으로 스텝 기동하고, 0.8[sec] 후에 이를 1200[rpm]으로 역회전시키며, 다시 0.8[sec] 후에 정지시킨 경우의 실험 결과는 그림 3과 같다. 전동기의 회전속도가 기준속도를 잘 추종하여 제어되는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 벡터제어를 수행하는 동안에 a, b상 전류가 90[°]의 위상차를 유지하면서 정현파로 올바르게 제어되는지를 확인하기 위한 상전류 파형 및 리사주 도형이다. 2개의 상전류가 90[°]의 위상차를 가지고 정현파 형태의 전류로 제어가 잘 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있다.

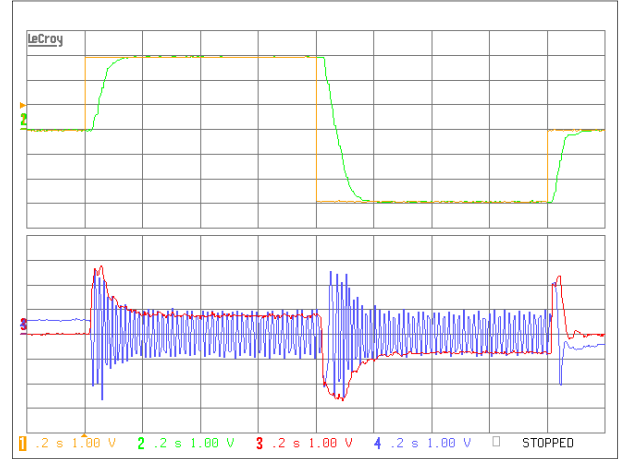


그림 3 속도응답 특성 실험 결과
Fig. 3 Experimental results of speed response characteristics

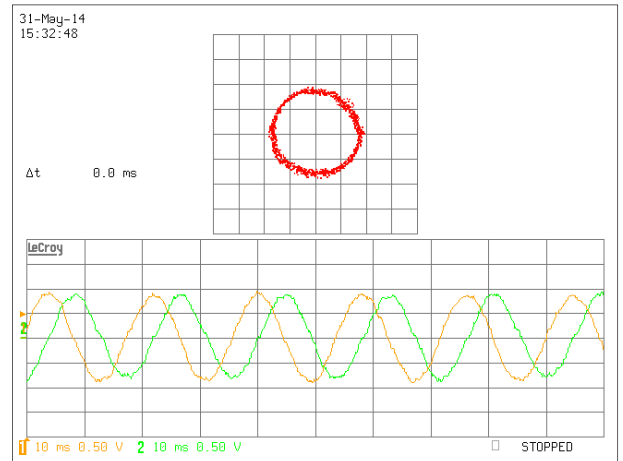


그림 4 a상 및 b상 전류 파형과 리사주 도형
Fig. 4 a and b-phase current waveforms and Lissajous figure

4. 결 론

2PIM의 벡터제어는 3PIM의 벡터제어에 버금가는 우수한 제어성능을 가지고 있으면서도 좌표변환이 불필요하여 제어기의 부담을 줄일 수 있고, 저가격으로 구현할 수 있으므로 가전제품과 같은 저전력 응용분야에서 단상 유도전동기에 대한 훌륭한 대안이 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Do Hyun Jang, "PWM methods for two phase inverters", IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 13, no. 2, pp. 50~61, Mar. 2007.
- [2] M. B. R. Correa, C. B. Jacobina, E. R. C. da Silva, and A. M. N. Lima, "Vector control strategies for single phase induction motor drive systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 51, no. 5, pp. 1073~1080, Oct. 2004.
- [3] Do Hyun Jang, "Problems incurred in a vector controlled single phase induction motor, and a proposal for a vector controlled two phase induction motor as a replacement", IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 1, pp. 526~536, Jan. 2013.