

V/F 제어 유도전동기의 전류 리플 저감 방법

김양환, 박우람, 박준성, 김진홍, 최준혁
전자부품연구원

Current Ripple Reduction Method of V/F Control Induction Motor

Yang Hwan Kim, Woo Ram Park, Joon Sung Park, Jin-Hong Kim, Jun-Hyuk Choi
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 유도전동기의 V/F 속도제어 시 특정 구간에 발생하는 전류 리플 저감에 대한 방법을 제안한다. V/F 속도 제어 시 특정 구간에 발생하는 전류 리플을 분석하고, 주파수에 따른 극전압 보상량을 결정하여 보상하였다. 극전압 보상을 통해 유도전동기의 전류 리플을 저감시켜 인버터의 효율적인 제어가 가능하게 하였다. 이를 15kW 유도전동기 시스템에 대한 실험을 통해 제안된 방법의 효용성을 검증하였다.

1. 서 론

유도전동기의 회전자는 고정자의 각 상에 대한 전류가 이상적인 정현파로 출력 되었을 때 고정자의 인가 주파수에서 슬립 속도를 제외한 속도로 회전한다. V/F 속도제어는 발생 토크와 회전자의 전류를 일정하게 유지하기 위해 공극 자속을 일정하게 제어해야 한다.^[1]

유도전동기 고정자의 각 상에 대한 전류를 제어하기 위해 인버터가 사용된다. 인버터의 스위칭 소자 보호를 위해 데드타임이 인가되어야 하는데 데드타임은 출력 전압을 왜곡시킨다.

본 논문에서는 고정자의 전류 왜곡에 따른 적절한 전압 보상량을 인가하여, 15kW 유도전동기 시스템에 대한 실험을 통해 제안된 방법의 효용성 검증하였다.

2. 본 론

2.1 유도전동기의 구동

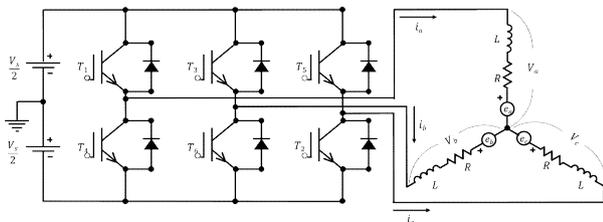


그림 1 3-상 인버터 구동 시
Fig. 1 3-phase inverter induction motor drive

유도전동기는 그림1 과 같이 인버터에 연결되어 고정자 기준 선간전압에 이상적인 정현파 지령전압이 인가되면 전류에

방향에 따라 고정자의 권선에 자기장이 형성된다. 고정자의 상 전류 위상이 각각 120°차이로 인해 형성된 회전자기장은 회전자에 전류를 유도하고 회전자는 로렌츠의 법칙에 의해 고정자의 주파수에서 슬립속도를 제외한 속도로 회전된다.

2.2 PWM 방법

PWM 방법은 여러 방법이 있으나 본 논문에서는 오프셋 전압을 이용한 SVPWM을 이용한다.^[2] a상 상전압 지령 V_a^* 는 지령전압 V_{dc} 에 운전 주파수 ω 에 대한 정현파를 인가한 식 (1)과 같다. a상 상전압 지령 V_a^* 와 b상 상전압 지령 V_b^* , c상 상전압 지령 V_c^* 는 각각 120°위상차이로 다음과 같다.

$$V_a^* = V_m \sin(\omega t) \tag{1}$$

$$V_b^* = V_m \sin(\omega t - 120^\circ) \tag{2}$$

$$V_c^* = V_m \sin(\omega t + 120^\circ) \tag{3}$$

식 (1),(2),(3)으로 부터 최대 지령 전압 V_m 와 최소 지령 전압 V_{min} 의 절대 크기가 동일하면, 대칭 공간 벡터 전압 변조 방식을 이용하여 오프셋 전압 V_{off} 은 다음과 같다.

$$V_{off} = \frac{V_m + V_{min}}{2} \tag{4}$$

3상 상전압 V_a^* , V_b^* , V_c^* 에 오프셋 전압 V_{off} 을 더해주어 3상 극전압 V_a , V_b , V_c 은 다음과 같다.

$$V_a = V_a^* + V_{off} \tag{5}$$

$$V_b = V_b^* + V_{off} \tag{6}$$

$$V_c = V_c^* + V_{off} \tag{7}$$

2.3 데드타임의 영향

그림 1에서 인버터 시스템의 a상 레그에 T_1 , T_2 스위칭 소자가 동시에 켜지는 경우 큰 전류가 흘러 소자가 파괴될 수 있다. 상보적으로 동작하는 스위칭 소자의 온-오프 상태가 전환되어지는 시간은 전달 지연시간과 턴온 시간, 턴오프 시간의 차이로 두 소자가 동시에 도통되어 턴온 될 수 있다. 이를 방지하기 위해 온-오프 전환 시점에 데드타임을 인가해야 한다.

데드타임 동안 전류는 다이오드를 통해 흐를 수 있다. 전류의 방향에 관계없이 전류의 크기는 데드타임동안 0으로 감소한다. 이는 운전 주파수와 출력 전압이 작은 운전 영역에서 두드

표 1 전류 전압
 Table 1 Pole voltage compensation according to current direction

> 0	$> -$	$< -$
	$+$	0
< 0	$<$	$>$
	$-$	0

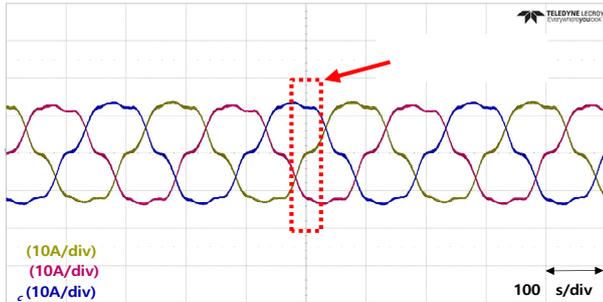


그림 2 전압 전류
 Figure 2 Pole voltage compensation current

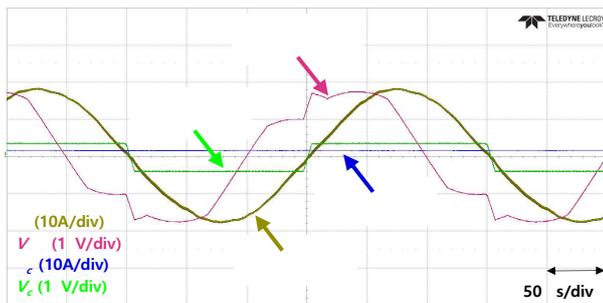


그림 3 a 전압 전류
 Figure 3 Pole voltage compensation

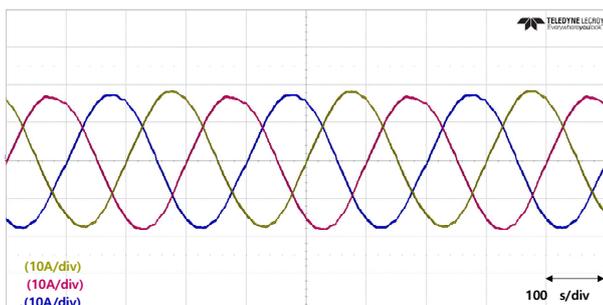


그림 4 전압 전류
 Figure 4 Pole voltage compensation

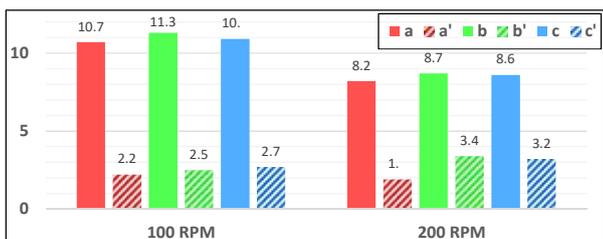


그림 5 저속 운전 영역과 고출력 영역에서의 전압 전류
 Figure 5 Low speed operation area and high output area

러진다. 그림2에서 a상의 전류파형이 zero crossing 시점에서 왜곡된 것을 확인할 수 있다. a상 전류가 거의 0일 때 b상 전류와 c상 전류도 왜곡되는 것을 확인할 수 있다. 또한 데드타임 구간에서 스위칭 소자의 기생 커패시터의 충방전에 의한 영향으로 출력 전압에 전압왜곡을 발생시킨다. 왜곡된 전압은 비선형적인 특성으로 전류를 0으로 고착시키는 영 전류 클램핑 현상이 발생된다.^[3]

3. 시험 및 고찰

극전압 보상 방법은 표1과 같이 극전압이 양수일 때 상전류가 음의 전류 밴드보다 크면 양의 방향으로 보상전압만큼 보상되고, 극전압이 음수일 때 상전류가 양의 전류 밴드보다 작으면 음의 방향으로 보상전압만큼 보상된다. 하지만 피드백 받은 상전류는 zero crossing 시점에서 위상지연과 노이즈, 스위칭 리플, 영 전류 클램핑 등의 영향으로 상전류의 극성 판단에 오차가 생긴다. 전류 밴드로 히스테리시스 구간을 설정해 보상전압의 보상 구간을 결정한다. 상전류의 zero crossing 시점에서 보상전압에 임의의 기울기를 인가하여 상전류의 왜곡을 방지 하였다.

그림 3에서 a상 상전류의 방향에 따라 보상전압가 식(5)에서 도출된 a상 극전압에 인가되는 것을 확인할 수 있다. 그림 2와 그림 4는 극전압 보상 적용 전과 후에 대한 결과를 확인할 수 있으며 그림5의 a, b, c는 극전압 보상 전 상전류 THD이고 a', b', c'는 극전압 보상 후 상전류 THD이다. 출력 전압이 작은 운전 영역인 100RPM과 200RPM 영역에서 상전류 THD가 최대 79% 감소하는 결과를 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 유도전동기의 V/F 속도제어 시 특정 구간에 발생하는 전류 리플 저감에 대한 방법을 제안하였다. 극전압 보상을 통해 유도전동기의 전류 리플을 저감시켜 인버터의 효율적인 제어가 가능하게 하였다. 이를 15kW 유도전동기 시스템에 대한 실험을 통해 상전류 THD를 최대 79% 감소시켜 전류 리플이 저감되고 제안된 방법의 효용성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20182020109570)

참고 문헌

- [1] 김상훈. (1993). "DC, AC, BLDC 모터제어", 북두출판사, pp. 177-184.
- [2] 설승기. (2002). "[특집: 산업용 인버터 기술] 산업용 인버터의 제어". 전력전자학회지, 7(3), 25-31.
- [3] Seung-Ki Sul, "A new compensation strategy reducing voltage/current distortion in PWM VSI systems operating with low output voltages", Proceedings of the IEEE, Vol. 31, No. 5, pp. 1001-1008, 1995, Sep/Oct.