

출력 토크 향상을 위한 혼합 여자 방식의 센서리스 BLDC 전동기

이태형, 김상훈
강원대학교 전기전자공학과

Hybrid Excitation Technique for Obtaining Higher Output Torque in Sensorless BLDC Motor Drive

Tae Hyung Lee, Sang Hoon Kim
Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 센서리스(Sensorless) BLDC 전동기의 출력 토크 능력을 향상시키기 위한 새로운 여자 방식을 제안하였다. 제안된 여자 방식은 기존의 2상 여자 방식에 3상 여자 방식을 혼합하여 12 스텝(Step)으로 운전한다. 제안된 혼합 구동 방식은 전통적인 2상 여자 방식의 6 스텝 운전 방식보다 더 큰 출력 토크를 얻을 수 있으며, 기존의 센서리스 제어에도 적용이 가능하다. 센서리스 BLDC 전동기에 대한 실험을 통해 제안된 기법의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

통상적으로 BLDC 전동기는 2상 여자 방식으로 구동되는 인버터에 의해 6 스텝으로 운전된다^[1]. 최근 많은 응용분야에서 BLDC 전동기는 회전자의 위치 검출을 위한 홀(Hall) 센서 없이 역기전력의 정보를 이용하여 회전자의 위치를 추정하여 센서리스로 구동되고 있는 추세이다^[2]. 센서리스 운전을 위한 역기전력의 정보는 BLDC 전동기의 인버터를 2상 여자 방식으로 구동할 때 비여자 상의 전압을 측정하여 얻을 수 있다. 따라서 센서리스 제어를 위해서는 2상 여자 방식이 필수적이다. 그러나 이러한 2상 여자 방식은 교류 전동기에서 사용되는 3상 여자 방식보다 전류의 도통 구간이 감소되어 출력 토크를 효과적으로 이용할 수 없다. 본 논문에서는 기존의 2상 여자 방식에 추가로 3상 여자 방식을 혼합한 12 스텝 운전 방식을 제안하였다. 제안된 혼합 여자 방식은 출력 토크를 향상시킬 수 있으며 기존의 센서리스 제어에도 적용이 가능하다. 센서리스 BLDC 전동기에 적용한 실험을 통해 제안한 방식이 전통적인 6 스텝 방식보다 우수한 출력 토크 특성을 보임을 입증하였다.

2. 혼합여자 방식에 의한 BLDC 전동기 구동

2.1 혼합여자 방식

2상과 3상 여자를 번갈아 사용하는 제안된 혼합 여자 방식에서는 그림 1에 보이는 바와 같은 12개의 전압 벡터를 사용한다. 실선의 전압 벡터는 전통적인 2상 여자 시의 전압 벡터이고 점선의 전압 벡터는 3상 여자 시의 전압 벡터이다. 제안된 혼합 여자 방식에서는 이들 12개의 전압 벡터가 $\pi/6$ 마다 인가되어 12 스텝으로 구동된다. 그림 2는 2상 여자 방식과 혼합 여자 방식에서의 전류 파형을 비교한다. 점선으로 표현된 전류

는 기존 2상 여자방식에 의한 전류이고 실선으로 표현된 전류는 혼합 여자 방식에 의한 전류이다.

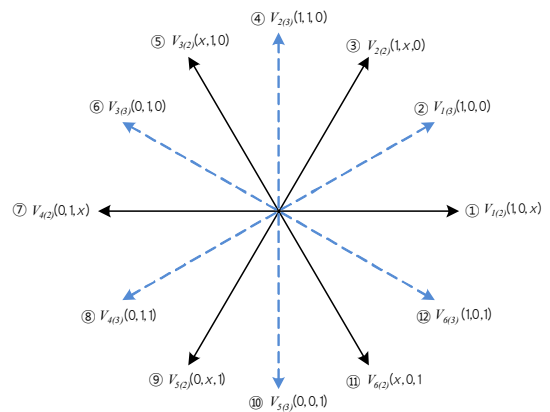


그림 1. 2상 여자와 3상 여자 시의 전압 벡터

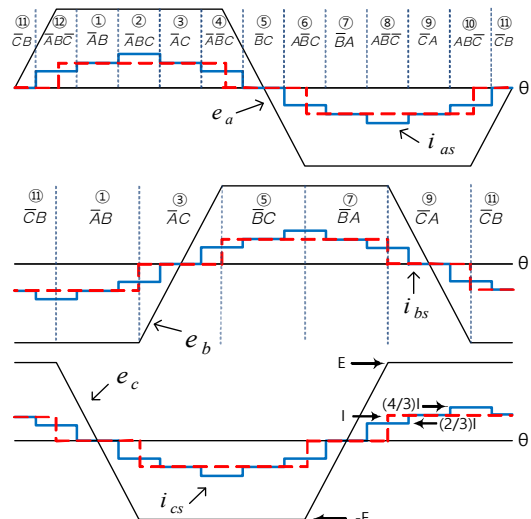


그림 2. 혼합 여자 방식의 운전 모드와 전류

혼합 여자 방식으로 구동 시 전류 도통 구간이 150° 로 확대되며 전류 파형이 좀 더 정현파에 가까워진다. 또한 각 상에 흐르는 실효전류도 증가한다. 이러한 실효전류 크기의 차이는 상전압 차이에 의해 발생한다. 2상 여자의 경우 각 상전압의

크기는 $V_{dc}/2$ 이지만, 3상 여자의 경우 두 상 전압의 크기는 $V_{dc}/3$, 나머지는 $2V_{dc}/3$ 가 된다. 이에 따라 2상 여자 시 흐르는 상전류 I 에 비해 3상 여자 시에 한 상에 흐르는 전류는 $4I/3$ 가 된다. 이러한 3상 여자 시의 전류 증가는 BLDC 전동기의 평균 토크를 상승시키게 된다.

혼합 여자 방식에 의한 발생 토크는 다음과 같이 계산된다. 2상 여자 구간에서의 출력 토크는 $2EI/\omega_m$ 이며, 3상 여자 구간에서의 출력 토크는 구간 ⑫를 예로서 계산하면 다음과 같다.

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_m} = \frac{(\frac{7}{8}E \times \frac{2}{3}I) + (-E \times -\frac{4}{3}I) + (\frac{7}{8}E \times \frac{2}{3}I)}{\omega_m} = 2.5 \frac{EI}{\omega_m} \quad (1)$$

그러므로 혼합 여자 방식에 의해 12 스텝으로 운전한 경우 한 주기에서 발생하는 총 출력 토크는 다음과 같다.

$$T_{e,t} = 6 \times 2 \frac{EI}{\omega_m} + 6 \times 2.5 \frac{EI}{\omega_m} = 27 \frac{EI}{\omega_m} \quad (2)$$

따라서 평균 출력 토크는 다음과 같다.

$$T_{e,ave} = 27 \frac{EI}{\omega_m} \times \frac{1}{12} = 2.25 \frac{EI}{\omega_m} \quad (3)$$

위의 식으로부터 BLDC 전동기를 12 스텝으로 운전한 경우의 토크가 기존 6 스텝 운전 시의 토크($2EI/\omega_m$)보다 12.5% 더 크게 됨을 알 수 있다.

2.2 센서리스 BLDC 전동기의 12 스텝 구동

그림 2에서 보이듯이 제한된 12 스텝 구동 방법은 역기전력이 영이 되는 시점에서는 2상 여자 방식을 사용하기 때문에 여자되지 않는 상의 전압을 측정하여 역기전력의 ZCP(Zero Crossing Point)를 검출할 수 있어 기존에 사용되는 BLDC 전동기의 센서리스 제어에 적용 가능하다.

3. 실험 결과

제안된 기법의 유효성을 확인하기 위해 냉장고 Fan 구동용 8극 12 V BLDC 전동기를 대상으로 6 스텝과 12 스텝 구동방식으로 센서리스 운전을 하였다. 그림 3은 6 스텝과 12 스텝 운전 시의 상전류를 비교한다. 그림 4와 5는 각각 6 스텝과 12 스텝 운전으로 1500 r/min까지의 가속 특성이자. 초기 위치 정렬 후에 동기 운전으로 가속하고 300 r/min에서 센서리스 운전으로 전환하였다. 두 경우 모두 직류 축 평균 전류의 크기는 동일하게 설정하였다. 제안된 혼합 여자 방식의 경우 더 큰 토크를 발생시키므로 향상된 가속 특성을 보임을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 BLDC 전동기 구동을 위해 2상과 3상을 번갈아 여자하는 혼합 여자 방식을 제안하였다. 제안된 혼합 여자

방식은 BLDC 전동기의 출력 토크를 기존 방식보다 12.5% 더 얻을 수 있으며, 기존에 사용되는 센서리스 구동에도 적용할 수 있다. Fan 구동을 위한 센서리스 BLDC 전동기에 적용한 실험을 통해 출력 토크가 향상됨을 확인하였다.

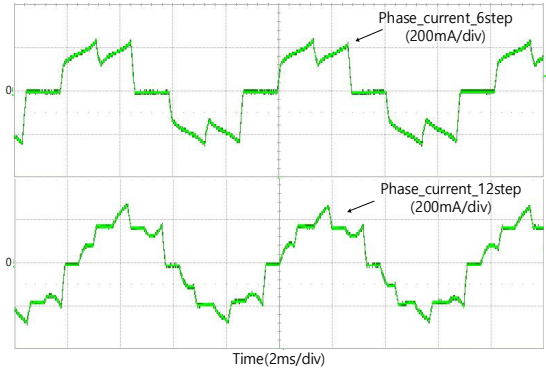


그림 3. 6 스텝과 12 스텝 운전 시 상전류 비교

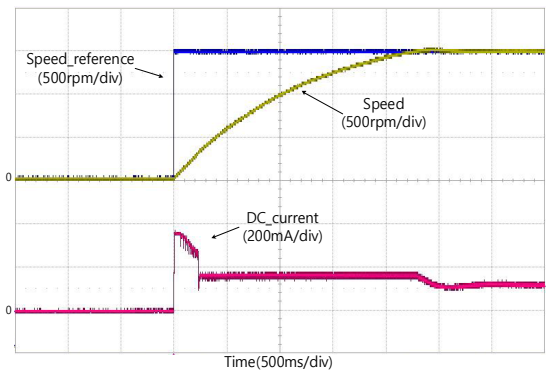


그림 4. 기존 6 스텝 방식을 적용한 센서리스 제어

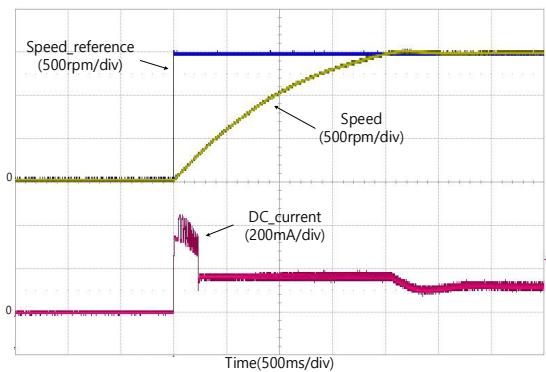


그림 5. 제안된 방식을 적용한 센서리스 제어

참고 문헌

- [1] Sang Hoon Kim, *Motor Control AC, DC, BLDC*, Bogdoo, Ch. 3, 2014.
- [2] Tae Hyung Lee, Sang Hoon Kim, Chang yoen Cho, Chang Ho Pak, and Jae Ho Kim, "Sensorless BLDC Motor Control to Drive Fins for Flight Attitude Control of a Guided Artillery Munition", *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 116, No.4, pp. 342-348, Aug., 2014.