

# 이중구조 독립 다상 BLDC 전동기 상수 전환 기법

김남언\*, 허홍준\*, 김장목\*, 오진석\*\*  
 부산대학교\*, 한국해양대학교\*\*

## Phase Changeover a Method of the dual type multiphase independent BLDCM

Nam Eon Kim\*, Hong Jun Heo\*, Jang Mok Kim\*, Jin Seok Oh\*\*  
 Pusan National University\*, Korea Maritime University\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 독립 다상 대용량 전동기의 상수 전환 기법에 관한 것이다. 독립 다상 전동기는 DC단 전압 이용률이 높고 고장에 강한 특성을 가지는 장점이 있지만, 많은 스위치 개수로 인하여 높은 스위칭 손실이 발생한다는 단점 역시 존재한다. 그러므로 저속 영역에서 독립된 다상 중 일부를 직렬 연결하여 상의 수를 감소시켜 저출력 영역에서의 효율을 개선할수 있다 제안된 방법은 전류가 비도통 되는 구간에서 독립다상 BLDC 전동기의 일부 상을 순차적으로 직렬 연결함으로써 상수전환으로 인한 토크 맥동을 야기시키지 않으며 스위치의 스트레스를 줄일수 있고, 수명을 연장할수 있다. 제안된 방법의 효율성은 시뮬레이션을 통해서 증명하였다.

### 1. 서론

선박 등의 대용량 전동기는 일부 고장상황에서도 운전이 가능하도록 하기 위해 그림1과 같이 각 상들이 전기적으로 분리된 독립 다상 BLDC 전동기로 설계한다. 독립 다상전동기는 높은 토크 밀도와 높은 출력 밀도의 특성을 가지고 있다.

그러나 많은 스위치 개수로 인하여 높은 스위치 손실이 발생하게 된다. 그러므로 상수전환을 통하여 저속영역에서 스위치 손실을 줄이고 효율을 높여야한다. 효율이 높아야 동일 크기 동일 무게에서 더 높은 출력을 낼수 있다.

기존방법은 상수전환시 도통 되는 전류에 의하여 스파크 발생 및 상수 전환 스위치의 스트레스가 증가되는 단점이 존재한다. 또한 상수전환에 따른 토크 맥동이 발생하게 된다.<sup>[1]</sup>

일반적으로 상수전환은 독립된 다상의 일부 상을 직렬 연결하여 상의 수를 감소시켜, 사용되는 스위치를 줄임으로써 저출력 영역에서의 효율을 개선시킬수 있다.<sup>[2]</sup>

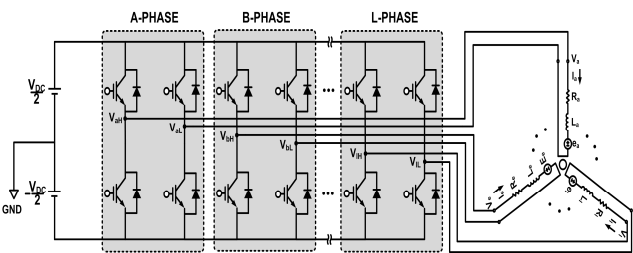


그림 1 독립 다상 BLDCM의 블록도  
 Fig. 1 Multiphase Independent BLDCM Block

본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해서 순차 상수전환 방법을 제안한다. 전류가 0인 구간에서 한 상씩 순차적으로 상수전환을 시키는 방법이다. 상수전환을 하여 저속 영역에서 인버터 시스템의 효율을 개선시킬 수 있다. 그리고 토크 맥동을 저감시킬 수 있으며 상수 전환 스위치에 인가되는 스트레스를 최소화 할 수 있어 스위치의 수명을 연장하고 상수전환시 손실을 최소화 할 수 있다.

### 2. 순차 상수전환 방법

본 논문은 독립 다상 대용량 전동기의 상수전환 기법에 관한 것이다.

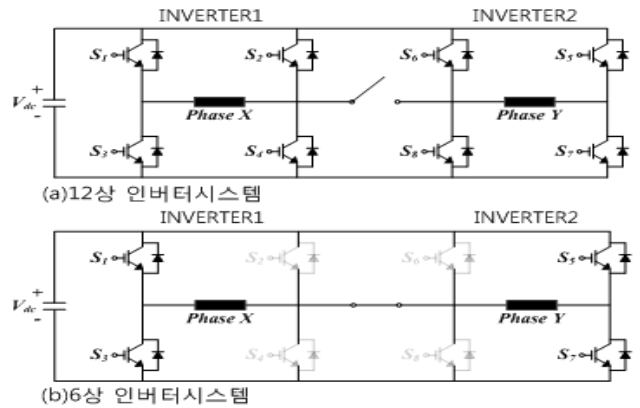


그림 2 상수전환의 구성

Fig. 2 Configuration of changeover phase

그림2에 (a)는 12상 인버터시스템이다. 각부하에는 on시  $\pm V_{dc}$ 를 인가한다. (b)는 6상 인버터 시스템이다. 각부하에는 on시  $\pm V_{dc}/2$ 를 인가한다. 전압지령값이  $\pm V_{dc}/2$ 보다 크면 12상모드로 작동하고  $\pm V_{dc}/2$ 보다 작으면 상수전환을 통해 상의수를 감소시켜서 6상모드로 작동하게 된다. 그림3은 순차 상수전환 방법을 보여주고 있다. 상수전환 스위치 변화 영역은 연결하려는 두 상의 상전류가 도통되지 않으며, 두 상의 역기전력 차가 작은 영역으로 정의 하였다. 이 영역에서는 전류가 흐르지 않음으로 인하여 스파크로 인한 스위치 스트레스 및 손실을 방지할 수 있다. 임의의 시점에 상수 전환 신호가 발생하게 되면, 전기적 위치가 상수 변환 영역에 위치한 상들로부터 차례로 상수 전환 스위치가 on/off되면서 상수를 변화시킨다. 상수 전환 영역은 각 상마다 전기전 한 주기에 2번씩 존재한다.

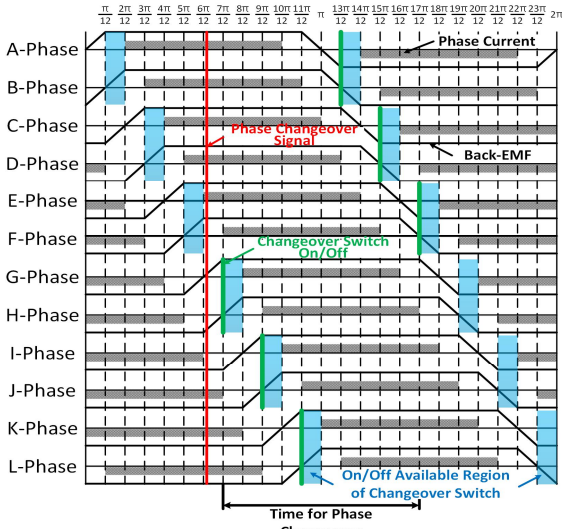


그림 3 순차 상수전환 방법

Fig. 3 Turn phase changeover method

상수전환에는 반주기의시간이 필요하고 반주기 시간전의 속도 계산이 필요하다. 상수전환 시작속도와 완료속도는 식(1)과 식(2)로 나타낼수 있다.

$$W_{m\_PCS} = \frac{K_t I_{ref} t_0}{J_m} \quad (1)$$

$$W_{m\_PCE} = \frac{K_t I_{ref} t_1}{J_m} = \frac{V_{dc} - I_{ref} kR}{kKe} \quad (2)$$

반주기는 식(3)으로 나타낼수 있다.

$$\pi = \frac{PK_t I_{ref}}{4J_m} (t_1^2 - t_0^2) \quad (3)$$

(3)식을 (2)식에 대입하여  $t_0$ 를 구해서 (1)식에 대입하면 최종적으로 상수전환 시작속도(4)를 얻을수 있다.

$$W_{m\_PCS} = \frac{K_t I_{ref}}{J_m} \sqrt{\left(\frac{J_m}{K_t I_{ref}}\right)^2 W_{m\_PCE}^2 - \frac{4\pi J_m}{PK_t I_{ref}}} \quad (4)$$

그림4에서는 전압이 Vdc가 되기 반주기전에 상수전환이 시작 되는 것을 보여주고 있다.

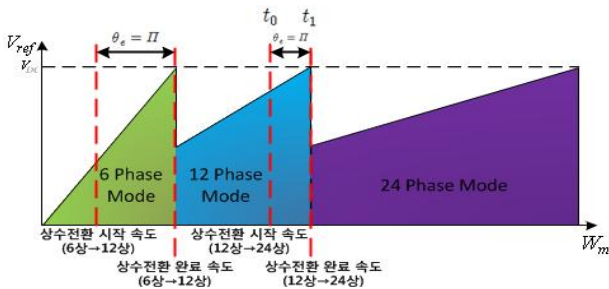


그림 4 상수전환 시점

Fig. 4 Phase changeover point

### 3. 시뮬레이션 결과

MATLAB/Simulink를 통해서 제안한 알고리즘을 증명하였다. DC링크단의 제한 전압은 300[V]이고, RPM\_ref는 3000[rpm]이다. 그림5에서 상수전환에 따른 전압파형을 보여주고 있다. 저속에서는 6상만 사용하다가 속도가 올라가고 출력이 커질수록 12상, 24상으로 상수전환을 하게 된다. 그림6은 상수전환 없이 24상으로 동작했을 때 토크 파형이다. 그림7은 상수전환에 따

른 토크 파형이다. 그림7에서 알수 있듯이 저속에서는 6상만 사용하여 스위치 손실을 줄이고 효율을 높일수 있게 된다. 24상모드와 상수전환에 따른 토크 파형을 비교했을 때 크게 다르지 않음을 알수 있다.

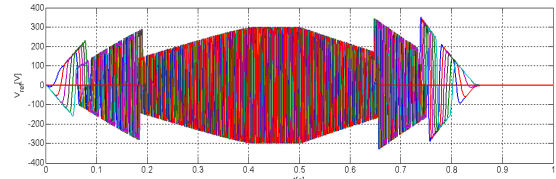


그림 5 상수전환에 따른 전압 파형

Fig. 5 Voltage waveform according to phase changeover

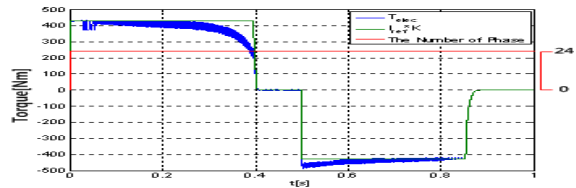


그림 6 24상 모드 일 때 토크파형

Fig. 6 Torque of 24 Phase Mode

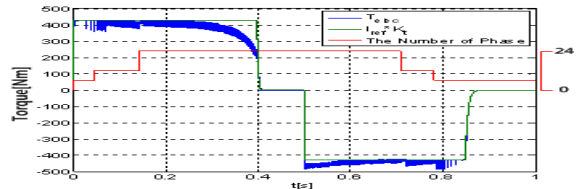


그림 7 상수전환에 따른 토크파형

Fig. 7 Torque of Phase changeover Mode

### 4. 결론

본 논문은 이중구조 독립 다상 BLDC 전동기의 새로운 상수 전환 기법 및 상수전환 시점을 제시하였다. 전류가 비도통 되는 구간에서 독립다상 중 일부 상을 순차적으로 직렬 연결함으로써 스위치에 인가되는 스트레스를 최소화 할 수 있고 스위치의 수명을 연장하고 상수전환 시 손실을 최소화 할수 있다. 또한 상수전환에 걸리는 시간을 고려하여 전환 시점을 결정함으로써 기존의 상수전환 방식의 단점을 보완하였다. 제안한 방법은 Matlab 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

본 논문은 수중 운송체 기술특화 연구센터 “대용량 영구 자석형 추진 전동기의 설계 및 제어 특성 해석 기법 연구” 지원을 받아 수행되었음.

### 참고 문헌

[1] Young Gook Kim, Chae Bong Bae, Jang Mok Kim, Hyun Cheol Kim, “Efficiency improvement by Changeover of Phase Windings of Multiphase Permanent Magnet Synchronous Motor with Outer Rotor type” APEC, 21 25 Feb.2010, page112 119

[2] Sung Young Jung, Jin Seok Oh, etc... “Characteristic Analysis of Independent 6 phase BLDC Motor” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 939~945, 2009.