

# 고속운전을 위한 PWM 운전제어기법

김양환, 조웅, 현병조, 김진홍, 박준성  
전자부품연구원 지능메카트로닉스 연구센터

## PWM Drive Control Technology for High Speed Operation.

Yang Hwan Kim, Woong Jo, Byong Jo Hyon, Jin Hong Kim, Joon Sung Park  
Korea Electronics Technology Institute(KETI)

### ABSTRACT

BLDC 전동기는 역기전력이 사다리꼴이며 운전은 전기각 60°로 구분되어 상전환이 이루어진다. 이와 같은 60° 구간에서 전압은 균일하게 인가되어야 하며, 이를 위하여 시비율을 조절하고 각 구간마다 균일한 전압이 출력될 수 있도록 한다. 그러나 60°의 상전환 시점과 PWM의 인가시점이 일치하지 않으며, 이에 따라 시비율을 일정하게 제어하더라도 각 60°구간의 전압이 균일하지 않게 될 수 있다. 이와 같은 현상은 60° 구간의 시간이 짧아져서 PWM 펄스개수가 줄어드는 고속 구간에서 오차가 더 크게 반영될 수 있다. 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 PWM의 주기 시점과 상전환 시점을 동기화하여 제어하는 방안을 제안하고, 실험을 통하여 검증하였다.

### 1. 서론

BLDC 전동기는 역기전력 모양이 사다리꼴이며 회전자의 위치에 따라 전기자 권선에 이상적인 전류를 흘려주어야 한다.<sup>[1]</sup> PWM 방식에 따른 상전환 구간에서 전류 리플을 최소화하기 위한 연구는 최근까지 이어왔다.<sup>[2]</sup> BLDC의 전동기는 전기각 60°로 구분되어 기존의 기법으로는 각 구간마다 균일한 전압을 인가하기 어렵다. 이로 인하여 전류 리플이 크게 발생하고, 전체 시스템 성능을 감소시킨다. 고속운전 영역에서는 각 구간에 들어가는 PWM 펄스개수가 감소하여 이와 같은 영향이 크게 발생 할 수 있다. 본 논문에서는 각각 60°구간에 균일한 전압 인가하여 고속운전을 위한 PWM 제어기법을 제안한다. 제안된 기법은 실험을 통하여 그 효용성을 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 BLDC 전동기의 구동

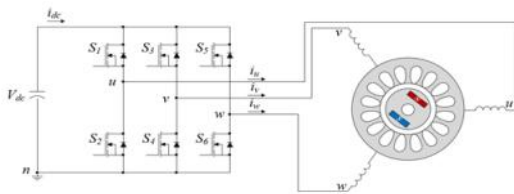


그림 1 BLDC 모터와 인버터 구조

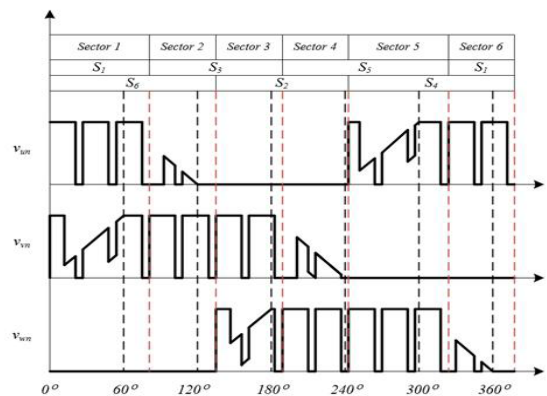


그림 2 기존 기법의 회전자의 위치 및 상전환 시점 비교

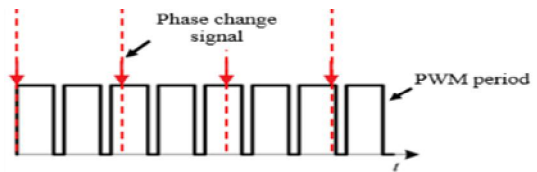


그림 3 기존 기법의 PWM 주기와 상전환 신호발생

그림 1은 BLDC 전동기 및 인버터의 구조를 보여주고 있다. BLDC 전동기의 구동방법은 회전자 위치센서나 센서리스 방식을 통하여 각각 60°의 6구간을 제어한다. 그림 2와 같이 구동하였을 경우 회전자의 위치와 상전환 시점의 불균형이 나타난다. 각각 60°의 구간에 동일한 시간동안 균일한 전압이 인가되어야 하나 구간에 따른 오차가 발생하게 된다.

#### 2.2 상전환

그림 2는 기존 기법의 회전자의 위치 및 상전환 시점 비교 파형을 보여주고 있다. 빨간 점선은 상전환 시점, 검은 점선은 회전자의 60°, 120°, 180°, 240°, 300°, 360°에 대한 위치를 나타내고 있다. 각각 60° 구간마다 인가되는 PWM 펄스개수는 Sector 1, Sector 5의 경우 3개가 인가되나 Sector 2, Sector 3, Sector 4, Sector 6의 경우 2개가 인가된다. 이로 인하여 각각 60°구간에 균일한 전압이 인가되기가 어렵고 전류 리플 및 토크 리플이 크게 증가하게 된다. 그림 3은 기존의 기법의 PWM 주기와 상전환 신호발생파형을 보여주고 있다. 기존의 기법으로는 일정한 PWM 주기가 발생되고 그에 따라 PWM 펄스 인가시점과 상전환 시점의 오차가 발생 할 수 있다. 한 구간에

대한 PWM 펄스개수를  $n$  이라하면, 오차  $Error$ 는 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$Error = \frac{1}{n} [\%] \quad (1)$$

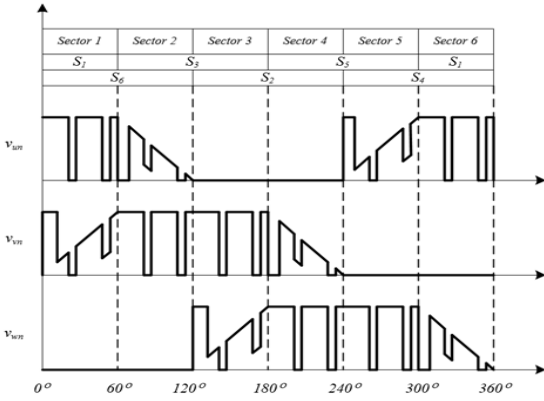


그림 4 제안된 기법의 회전자의 위치 및 상전환 시점 비교

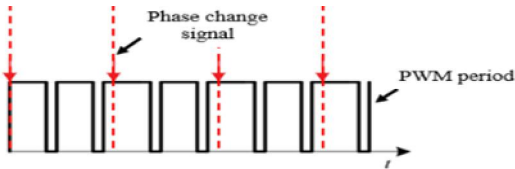
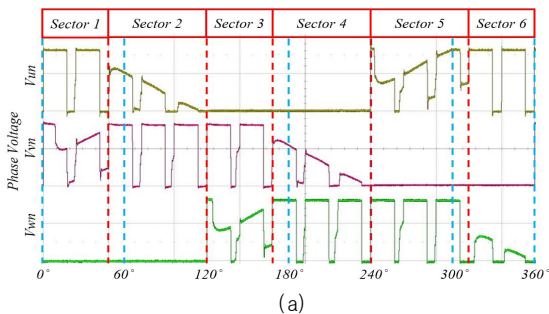
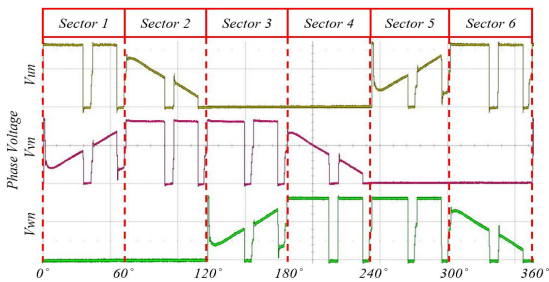


그림 5 제안된 기법의 PWM 주기와 상전환 신호발생



(a)



(b)

그림 6 인버터의 상전압 파형 (a) 기존의 PWM 제어기법을 적용한 경우, (b) 제안된 PWM 제어기법을 적용한 경우

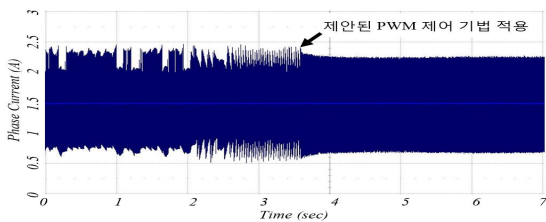


그림 7 인버터의 U상 전류 파형

그림 4는 제안된 기법의 회전자의 위치 및 상전환 시점 비교파형을 보여주고 있다. 상전환 시점에 동기화 하여 PWM 주기를 초기화하고 다시 PWM 펄스를 인가하며, 그에 따라 각각 60° 구간마다 일정한 PWM 펄스개수가 인가되고 균일한 전압이 인가된다. 그림 5는 제안된 기법의 PWM주기와 상전환 신호발생을 나타내고 있다. 상전환 신호가 발생하면 PWM 주기를 초기화 하여 각각 60°의 구간마다 일정한 PWM 펄스개수가 인가되고 한 구간에 대해 균일한 전압이 인가된다.

### 3. 시험 및 고찰

제안된 PWM 제어기법을 검증하기 위하여 시험을 진행하였다. 그림 6(a)는 기존 기법의 PWM 제어기법을 보여준다. 빨간 점선은 상전환 시점, 파란 점선은 회전자의 위치를 나타내고 있다. Sector 1, Sector 3, Sector 6, 구간에는 PWM 펄스가 2개 Sector 2, Sector 4, Sector 5, 구간에는 PWM 펄스가 3개가 인가되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 상전환 시점에 맞춰 PWM 펄스개수가 일정하지 않음을 확인 할 수 있다. 그림 6(b)는 제안된 PWM 제어기법을 보여준다. 빨간 점선은 회전자의 위치와 상전환 시점이 일치함을 나타내고 있다. Sector 1, Sector 2, Sector 3, Sector 4, Sector 5, Sector 6 구간마다 인가되는 PWM 펄스 개수가 일정함을 확인 할 수 있다. 그림 7은 제안된 PWM 제어기법을 적용 전부터 적용 후까지의 전류 파형이다. 적용시점부터 회전자의 위치와 상전환 시점에 동기화 하여 각각 60° 구간마다 균일한 전압이 인가되므로 전류 리플이 감소한 것을 확인 할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 BLDC전동기의 고속운전을 위한 PWM 운전 제어기법을 제안하였다. 저속운전 시 한 구간의 PWM 펄스개수가 많아 PWM 펄스 인가시점과 상전환 시점의 오차가 작아 무시가 가능 하나 고속운전 시 한 구간의 PWM 펄스개수가 적어 PWM 펄스 인가시점과 상전환 시점의 오차를 무시하기 어렵다. 제안된 기법은 각 구간마다 일정한 PWM 개수가 인가되어 균일한 전압이 인가되고 전류 리플이 감소하였다. 제안된 PWM 제어기법은 시험을 통하여 그 효용성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화(주력)산업육성사업(친환경자동차용 배터리 쿨링팬 모듈 개발, No.R0006050)”으로 수행된 연구결과입니다.

### 참고 문헌

[1] Kwang Woon Lee, Jung Bae Park, Hyeong Gee Yeo, Ji Yoon yoo, Hyun Min Jo. (1998). CURRENT CONTROL ALGORITHM TO REDUCE TORQUE RIPPLE IN BRUSHLESS DC MOTORS. ICPE(ISPE)논문집, 380 385.  
 [2] 권경준, 김상훈. (2004). Brushless DC Motor에서 토크리플 저감을 위한 전환 구간에서의 전류제어 기법. 전력전자학회논문지, 9(3), 195 202.