

# 영구자석 직류기 (PMDC motor)의 제어 방식 비교 분석

오규택, 김예린  
울산과학기술대학교

## Comparison & Analysis of The Permanent Magnet DC Motor Control Method

Kyu Taek Oh, Katherine A. Kim

Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

### ABSTRACT

넓은 범위의 토크 속도 특성을 가지는 직류기는 소형에서부터 대형까지 다양한 산업분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 이러한 직류기 중 영구자석으로 자기장을 형성하는 영구자석 직류기 (Permanent magnet dc motor, PMDC motor)의 제어방식에 대해 비교 분석했다. 가장 대중적으로 사용되고 있는 진폭 변조 방식 (PWM, Pulse Width Modulation)과 벡 부스트 컨버터 (Buck Boost converter)를 이용한 직류기 제어 방식에 대해 비교했다. PWM 방식은 인버터를 이용하여 펄스폭을 변조하였고, 벡 부스트 컨버터를 이용하는 방식은 스위치의 듀티비를 제어하여 직류 전압의 크기를 조절하였다. 시뮬레이션 결과 벡 부스트 컨버터를 이용한 방식이 PWM 방식보다 5 rad/s 까지 정착 시간은 54.4 % 단축되었지만, 전력 소모는 194 % 증가하는 결과를 얻었다.

### 1. 서 론

전력 스위치의 발전 이후 PWM (Pulse Width Modulation) 방식이 PMDC 모터의 제어 방식으로 활발하게 사용되고 있다. PWM 방식은 인버터의 스위치를 ON/OFF 시킴으로써 진폭의 크기를 제어해서 출력 전압을 조절한다. 진폭의 크기를 가장 크게 했을 경우 출력 전압은 입력 전압과 같은 값을 가질 수 있다. 하지만, 이러한 특성 때문에 PWM 방식을 쓸 경우 출력 전압이 입력 전압보다 클 수 없다는 한계가 있다. 입력 전압 이상의 출력 전압을 직류기에 인가하기 위해 벡 부스트 컨버터 (Buck Boost converter)를 사용해 PMDC 모터의 제어에 대해 시뮬레이션 했다. 벡 부스트 컨버터를 이용할 경우 PWM 방식 보다 정교한 제어가 가능하다. 직류기의 극수를 늘리지 않고 모터 회전 속도의 리플이 감소하고, 모터의 회전 속도의 정교한 제어로 인해 부드러운 발진이 가능하다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 벡 부스트 컨버터를 이용한 PMDC 모터 제어가 가지는 응답속도와, 전력소모를 PWM 방식의 PMDC 모터 제어와 비교했다.

## 2. PMDC 모터 제어 시뮬레이션

### 2.1 PWM 방식의 PMDC 모터 제어

PWM 방식을 이용한 PMDC 모터의 제어는 그림 1과 같이 4개의 MOSFET을 스위치를 사용하였고, 직류기의 회전 속도

를 피드백 받아 인버터의 듀티비를 제어하였다. 제어기에 입력되는 값이 양수이고 이 값이 삼각파와 비교하여 클 경우 1, 4번 스위치를 ON, 2, 3번 스위치를 OFF 시키고, 입력 값이 삼각파보다 작을 경우 4번 스위치만 ON, 나머지 1, 2, 3번 스위치를 OFF 시켰다. 제어기에 입력되는 값이 음수이고, 이 값의 절댓값을 삼각파와 비교하여 클 경우 2, 3번 스위치를 ON, 1, 4번 스위치를 OFF시키고, 삼각파보다 작을 경우, 3번 스위치를 ON, 나머지 1, 2, 4번 스위치를 OFF 시켰다.

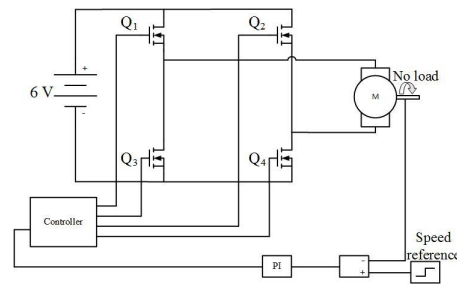


그림 1 PWM 제어방식의 시뮬레이션 구성도

Fig. 1 Simulation schematic for the motor control using PWM method

### 2.2 벡-부스트 컨버터를 이용한 PMDC 모터 제어

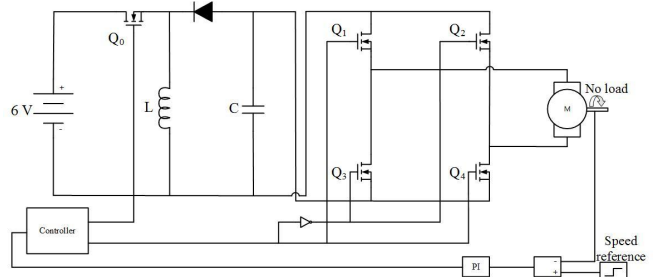


그림 2 벡-부스트 컨버터를 이용한 PMDC 모터의 제어 시뮬레이션 구성도

Fig. 2 Simulation schematic for motor control using Buck-Boost converter

벡 부스트 컨버터를 사용한 PMDC 모터의 제어 방식은 그림 2와 같이 두 단계로 나누어 구성하였다. 첫 단계는 벡 부스트 컨버터에서 듀티비를 제어하여 출력 전압의 크기를 조절해 주었다. 두 번째 단계는 H 브릿지 회로를 사용하였다.<sup>[1]</sup> H 브릿지 회로를 이용해 직류기가 양 방향 (Bi directional) 회전을

가능하게하고 동시에 회전 속도의 감속을 빠르게 하는 역할을 하도록 하였다. 제어기에 입력되는 값이 양수일 경우 1, 4번 스위치를 ON, 2, 3번 스위치를 OFF 시키고, 음수일 경우 2, 3번 스위치를 ON, 1, 4번 스위치를 ON 시켰다. 속도 기준 값이 현재 속도보다 낮을 때 제어기에 입력되는 값이 음수가 되기 때문에 모터에 인가되는 전압은 반대가 되도록 했다.

### 2.3 PMDC 모터 제어 방식 비교 분석

PWM 방식과 벡 부스트 컨버터를 이용한 PMDC 모터의 제어를 비교 분석하였다. 입력 전압은 6 Vdc로 하였고, 모터에 부하는 없는 상황 (no load)을 가정하였다. 모터의 기준 회전 속도를 0에서 0.5초 동안 5 rad/s, 0.5에서 1초 동안 10 rad/s로 설정하여 PMDC 모터의 회전 속도, 입력 전압, 각 방식별 소모전력 대해 비교했다.

#### 2.3.1 PMDC 모터 회전 속도 비교

벡 부스트 컨버터를 이용한 PMDC 모터 제어는 그림 3과 같이 속도의 빠른 증가가 가능했다. PWM 방식이 5 rad/s와 10 rad/s의 정상상태에 도달하는데 0.172초, 0.301초 소모되었고 벡 부스트 컨버터 방식은 0.098초, 0.103초 소모되어 각 43 %, 65.8 % 단축 되었다. 벡 부스트 컨버터를 이용할 경우 높은 전압의 인가가 가능하지만 PWM 방식의 경우 입력 전압에 제한을 받기 때문에 높은 기준 속도에서 정상 상태에 도달하는데 소모되는 시간 차이는 증가하였다.

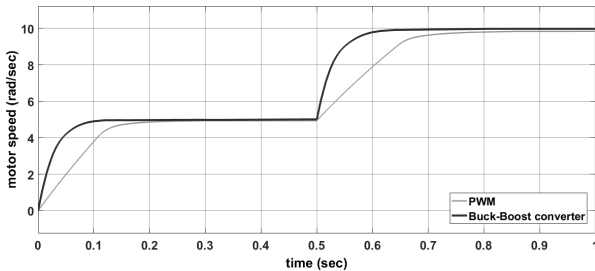


그림 3 PMDC 모터의 회전 속도 및 정착 시간 비교  
Fig. 3 Motor speed and settling time comparison

#### 2.3.2 PMDC 모터 입력 전압 비교

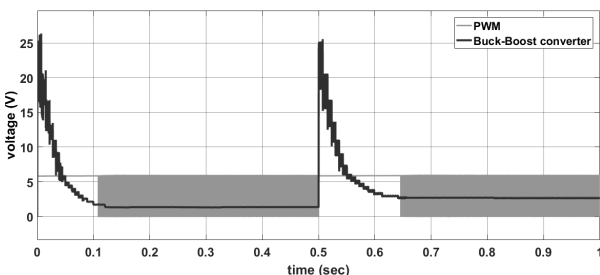


그림 4 PMDC 모터의 입력 전압 비교  
Fig. 4 Comparison of input voltages to PMDC motor comparison

PWM 방식을 이용해 PMDC 모터에 인가되는 전압은 0~6 V의 범위를 가지고 빠른 스위칭을 통해 평균 전압을 조절한다. 벡 부스트 컨버터를 이용해 PMDC 모터에 인가되는 전압의 범위는 입력 전압의 크기에 영향을 받지 않는다. 모터의 회전 속도가 기준 속도와 다른 경우 제한 없는 큰 전압이 모터에 인

가 가능하다. 그림 4에서 0초와 0.5초에 기준 속도에 변동이 생긴 경우, PWM 방식은 듀티비를 1로 하여 6 V를 인가해 주지만, 벡 부스트를 이용한 방식은 25 V의 높은 전압을 인가했다. 모터의 회전 속도가 정상상태에 도달한 이후에도 PWM 방식은 6 Vpp 구형파의 진폭을 조절해 평균 전압을 인가하는 반면, 벡 부스트 방식은 낮은 직류 전압을 유지함으로써 모터의 회전 속도를 유지했다.

#### 2.3.3 소모전력 비교

그림 5는 PWM 방식과 벡 부스트 컨버터 방식의 시스템에서 소모된 누적 전력량을 비교하였다. 두 방식 모두 5 rad/s와 10 rad/s의 정상 상태 이후의 누적 전력 소모량은 PWM 방식이 0.019, 0.028 J, 벡 부스트 컨버터 방식이 0.025, 0.029 J로 비슷하지만, 5 rad/s와 10 rad/s의 정상상태에 도달하기까지 소모되는 누적 전력량은 PWM 방식이 0.58, 0.635 J, 벡 부스트 컨버터 방식이 1.842, 1.867 J로 큰 차이가 발생했다.

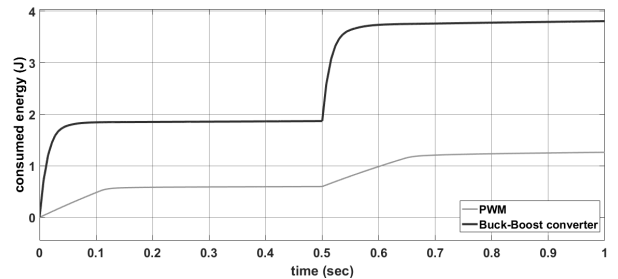


그림 5 시스템의 입력 에너지 비교  
Fig. 5 System input energy comparison

## 3. 결 론

PMDC 모터 제어 방식 중 PWM과 벡 부스트 컨버터를 이용하는 방식에 대해 비교했다. 현재 많이 사용되는 PWM 방식에 비해 벡 부스트 컨버터를 이용하는 방식은 PWM 방식보다 높은 전압의 생성이 가능했고, 43 %이상 빠른 반응속도를 보여주었지만, 전력 소모는 194 %이상 증가하는 결과를 얻었다.

This research was supported by Lockheed Martin Cooperation through RoKST&R program (Research Agreement P16 026).

## 참 고 문 헌

- [1] E. Hernández Márquez, R. Silva Ortigoza, S. H. Dong, V. H. García Rodríguez, G. Saldaña González and M. Marcelino Aranda, "A New DC/DC Buck Boost Converter DC Motor System: Modeling and Simulation," 2016 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE), Cuernavaca, 2016, pp. 101-106.
- [2] R. Rajeswari, S. Ravi, V. Mezhuev and V. Kumarakrishnan, "MATLAB/Simulink based design and development of a Buck Boost converter as a smooth starter for DC motor control," 2015 International Conference on Soft Computing and Networks Security (ICSNS), Coimbatore, 2015, pp. 1-5.