

축방향 이중 회전자 브러시리스 직류 전동기의 센서리스 구동에 관한 연구

\*원재선      강태삼      홍선기  
 호서대학교 전기전자제어공학부

A Study of Sensorless Driving for The Axial Type Double Rotor  
 Brushless DC Motor

\*Jae-Son Won      Tae-Sam Kang      Sun-Ki Hong  
 School of Electrical Eng., Hoseo University

**Abstract** - In this paper a driving method using the microcomputer in safe driving the axial type double rotor brushless DC motor without shaft position sensor is studied. The rotor position is determined from the back-EMF passed through special filter. Starting technique which uses the motor as a synchronous motor at standstill are explained. The motor speed is controlled by changing the duty cycle of PWM. The test motor has Y-connected three-phase stator and 8-pole axial type double rotor. From the experiments, we got good performances of the proposed control system.

1. 서    론

브러시리스 DC 모터(BLDCM)는 산업용 기기의 구동을 위한 서보 응용분야나 가정용 에어컨, 공기 청정기 등에 많이 사용되고 있는 모터중 하나이다[1,2]. 특히 축방향 이중회전자 BLDCM은 철손이 없고 코깁 토크가 없어 그 수요가 증가되고 있다.[3] 이 BLDCM은 회전자 요크 위에 영구 자석을 부착한 구조이다. 이 전동기는 역기전력이 사다리꼴 형태를 취한다. 따라서 이 전동기는 구형과 형태의 교류 전류를 인가함으로써 손쉽게 토크를 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 속도의 변화를 요하는 기기에서 이 BLDCM은 단지 전압을 조정함으로써 쉽게 속도를 바꿀 수 있고, 높은 효율을 가지고 있다. 하지만 이 형태의 모터는 회전자의 위치를 검출할 센서가 필요하다. 이것은 시스템에서 모터의 구성을 복잡하게 만드는 요인으로 특히 높은 온도나 아주 낮은 온도의 환경에서는 신뢰성이 떨어져서 이 센서를 적용하기가 곤란해진다. 본 논문에서는 센서를 제거하고 단지 역기전력으로 회전자의 위치를 결정하여 제어하는 방법을 연구한다. 또한 역기전력은 모터가 정지한 상태에서 0[V]이므로 회전자의 위치를 검출할 수가 없다. 본 연구에서는 동기 모터처럼 초기 기동이 되도록하였다[4]. 마이크로프로세서로는 모터 제어에 용이한 i80c196kc를 사용하였다. 실제 실험 결과 만족할 만한 결과를 얻을수 있었다.

2. 본    론

2.1 제어 시스템 구성

그림 1은 이 시스템의 기본 구성도 이다. 모터 속에 장착되는 위치센서의 제거와 속도 제어가 주요 내용이다. 기계적인 센서 대신 사용하는 권선에 연결된 역기전력 측정 회로는 그림 3과 같이 필터들과 비교기들로 구성 되어 있다.

실험 장치의 구조는 크게 마이크로컴퓨터, 회전자 위치 검출을 위한 역기전력 측정 회로, 인버터 드라이브 회로와 같이 세개로 나뉘어져 있다.

2.1.1 마이크로 컴퓨터의 소프트웨어 기능

- 1) 초기 정지시 기동 :

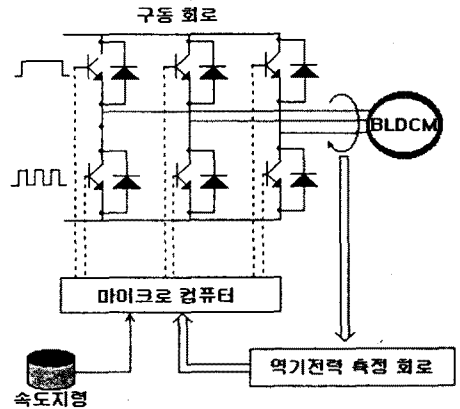


그림 1. 시스템 구성도

모터가 정지한 상태에서는 역기전력이 0[V]이된다. 따라서 초기 기동을 위한 다른 기술이 필요하게 된다. 본 논문에서는 센서리스 BLDCM의 초기구동을 위해 인버터 신호의 주파수를 서서히 가속시켜 원하는 속도에 도달시키는 방법을 구현하였다.

부하각을 벗어나 탈조가 나지 않는 한도 내에서 인버터에 인가할 주파수를 서서히 가속시켜 회전자의 위치를 판별할 수 있을 만큼의 역기전력 파형이 얻어진다고 판단되어지면 마이크로 컴퓨터는 역기전력 센서신호를 사용해서 BLDCM을 구동하게 된다. 정지시 구동에서 정상 상태 구동으로의 변환시기를 결정하는 방법은 아래 그림 2와 같이 측정된 B상의 역기전력 파형이 필터를 통과한 파형  $S_a$  와 인버터에 인가하는 신호 B+신호와의 차이가  $\delta$ 보다 작아지면 변환한다.

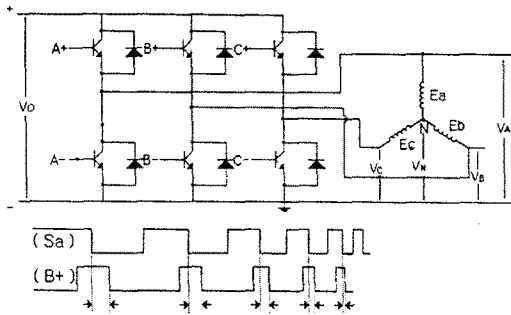


그림 2. 인버터와 기동에서 정상상태구동으로 변환 시점

2) 정상상태 구동 : 1)과 같이 가속되어진 모터의 역기전력으로 센서 신호를 충분히 만들어 낼 수 있다고 판단되어지면 마이크로 컴퓨터는 세 개의 회전자 위치 검출 신호들을 받아서 논리적으로 여섯단계의 인버터 신호를 만들어 낸다.

3) 속도 제어: 컴퓨터는 펄스 폭 변조 신호(PWM)를 발생시킨다. 그리고 AD 변환기에 연결되어진 포텐서미터를 통해 속도 지령을 받아서 PWM 신호의 듀티비를 변화시킨다. 이러한 초퍼구동은 평균 전압을 조절하게 되므로 속도를 제어할 수 있게 된다.

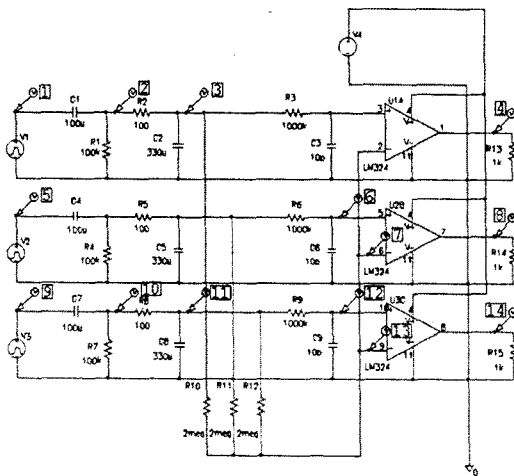


그림 3. 역기전력 측정 필터 회로

### 2.1.2 역기전력을 이용한 구동 신호 발생

역기전력이 측정되면 구동 신호의 발생은 간단하다. 즉,  $90^\circ$  위상 지연 시킨 후 바로 스위칭 신호로 쓰면 된다. 위상 지연회로는 그림 3에 나타낸 바와 같다. 그림 3의 필터를 전체적으로 보면 매우 복잡해 보이지만 나누어서 보면 첫번째단이 대역통과 필터이고 둘째단은 단지 고주파 잡음을 줄이기 위한 저역통과 필터이다.

필터 앞단 즉 대역통과 필터의 전달함수는 다음과 같다.

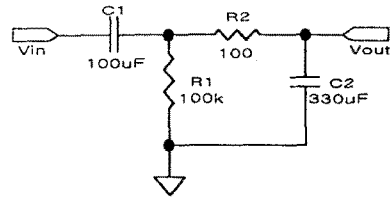


그림 4. 대역통과 필터

$$G_1(s) = \frac{R_1 C_1 s}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1}$$
 한편 두 번째 단 즉, 다음과 같은 회로의 전달함수는

$$G_2(s) = \frac{1}{R_3 C_3 s + 1} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

여기서  $\tau = R_3 C_3$ 이다. 그러면 전체 전달함수는 부하효과가 무시할 만하다고 가정하면  $G(s) = G_1(s) G_2(s)$  가 된다. 부하효과가 무시될 수 있으려면  $\frac{1}{s C_2} \ll R_3 + \frac{1}{s C_3}$  가

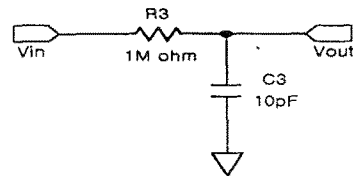


그림 5. 저역통과 필터

성립되어야 한다. 이를 위해  $C_2 \gg C_3$ 가 만족되도록 한다. 각 파라미터 값의 선정은 원하는 동작 범위에서 이득이 충분하고, 무엇보다 위상 지연이  $90^\circ$ 가 되도록 하여야 한다.

본 연구에서는 위에서의 위상 이동 및 이득을 맞추기 위하여  $C_1 = 100\mu F$ ,  $C_2 = 330\mu F$ 으로 두었고  $\omega = 0.1$  rad/sec,  $\tau = 1e-5$ ,  $C_3 = 10$  pF으로 두었다. 그리고  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 100\Omega$  으로 두었으며, 또한  $R_3 = 1$  M $\Omega$ 으로 두었다.

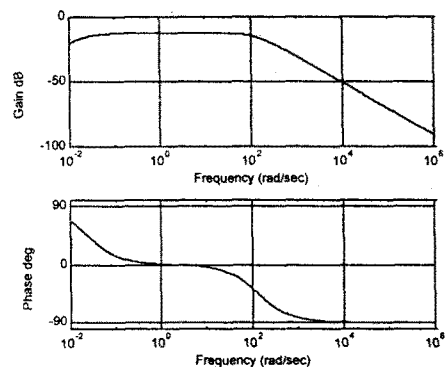


그림 6. 신호처리회로의 주파수 응답

그림 6은 이때의 주파수 응답이다. 여기에서보면 모터가 구동되는 영역에서 위상이 90° 지연됨을 알 수 있다. 그리고 크기는 주파수가 증가함에 따라 감소하는데 역기전력은 주파수에 비례하여 증가하므로 특별한 문제는 발생하지 않는다. 그리고 Rn (그림 3의 R10, R11, R12) 은 가상 접지를 얻기 위한 것으로 이것 역시  $1/C_2s$  보다 충분히 커야 한다. 본 설계에서는  $2M\Omega$  정도를 사용하였다.

## 2.2. 시뮬레이션 및 실험 결과

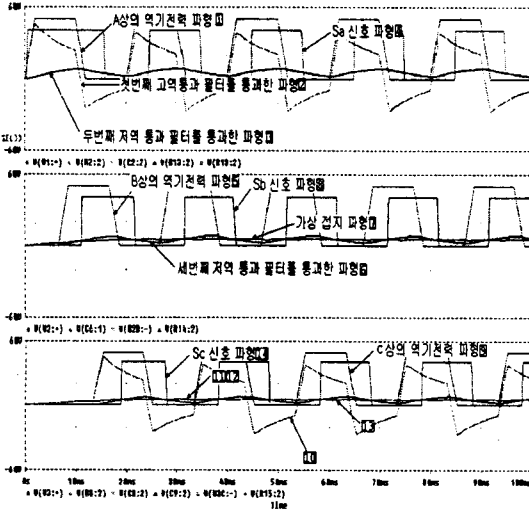


그림 7. PSpice를 통한 필터 시뮬레이션 결과 파형

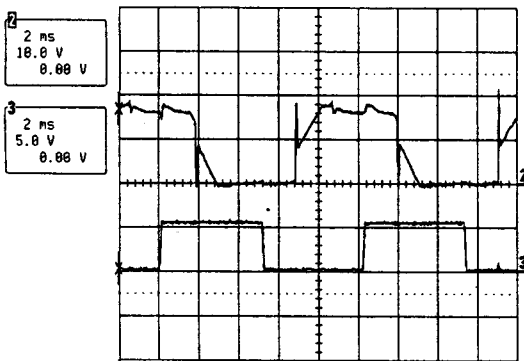


그림 8. A상의 역기전력 파형과 필터를 통과한 Sa 신호

이렇게 얻어진 그림 3의 필터를 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과가 그림 7이고, 실제 실험으로 얻어진 파형이 그림 8이다.

그림 7은 그림 3을 시뮬레이션 한 결과 파형으로 역기전력 파형이 50hz로 인가되고 있다. 즉, 500 rpm으로 회전하고 있을 때의 시뮬레이션 결과이다.

그림 7과 그림 8로부터 A상의 역기전력 파형(1)이

29-Sep-98  
1:17:18

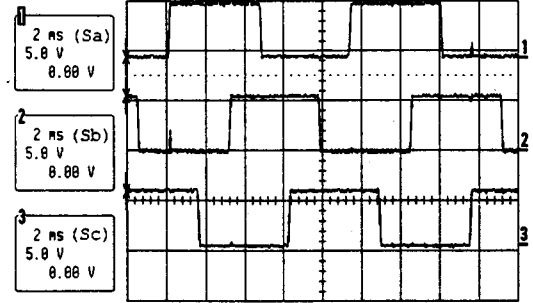


그림 9. 회전자 위치 검출 신호 Sa, Sb, Sc

Sa 신호 파형(4)으로 위상 지연이 약 90°에 못 미침을 볼 수 있고 속도가 증가하여 역기전력 파형의 주파수가 높아지면 90°도를 약간 초과하게 된다. 그림 9와 같이 이렇게 얻어진 3개의 센서신호(Sa, Sb, Sc)는 마이크로 컴퓨터에 의해 BLDCM을 구동하기 위한 신호로 만들어진다.

## 3. 결론

본 논문에서는 마이크로 컴퓨터를 이용하여 축방향 이중 회전자 브러시리스 DC 모터의 안정된 센서리스 구동에 관하여 연구하였다. 역기전력이 나타나지 않는 정지한 상태에서는 동기모터와 같이 변조된 주파수를 인가하여 구동하였다. 기동후 역기전력으로부터 얻어진 센서 입력신호와 동기신호를 비교하여 변환시점을 결정하였는데 이를 위하여 역기전력의 파형을 사용하여 회전자의 위치를 결정하기 위한 특별한 필터를 설계하였다.

모터의 속도제어는 PWM을 이용하여 듀티비를 조정함으로써 구현하였다. 실험 대상은 8극 30W급 축방향 이중 회전자 브러시리스 DC 모터를 사용하였으며, 실험 결과를 통해 300rpm ~ 4000rpm 영역에서 안정한 구동이 가능하였고, 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 주식회사 유유의 연구비 지원에 의한 연구 결과입니다.

## (참고 문헌)

- [1] T. Kenjo, S. nagamori, *Permanent Magnet and Brushless DC Motors*, Sogo Electronics Publishing Company, 1986.
- [2] J.R.Hendershot Jr., TJE Miller, *Design of Brushless Permanent Magnet Motors*, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1994.
- [3] Sun-Ki Hong, "Design of Axial Double Rotor Type Brushless DC Motor Using Disk Pieces of Rare-Earth Magnet", *ICEE Proceedings* Vol. I, pp.131-134, Kyong-Ju Korea, July, 1997.
- [4] Kenichi Iizuka, "Microcomputer control for sensorless Brushless Motor", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol IA-21, No.4, May/June 1985