

센서리스 구동 브러시리스 DC 모터의 기동 특성 개선에 관한 연구

김성태, 방승현, 홍선기
호서대학교 전기정보통신공학부

A study on starting characteristics improvement of sensorless BLDC motor

Seong-tae Kim, Sun-ki Hong
School of Electrical Engineering, Hoseo University

Abstract - 브러시리스 직류 전동기(Brushless DC Motor : BLDCM)는 기존의 직류 전동기의 단점인 브러시를 제거한 것으로 제어가 간단하면서도 넓은 범위에 속도 제어가 가능하고 효율이 높으며 저가로 제어가 제작이 가능하다. 그러나 BLDCM을 구동하는데 필수적인 센서는 제품의 가격을 증가시킬 뿐만 아니라 외부 환경-특히 온도의 영향을 많이 받는다는 단점이 있다. 이러한 것은 BLDCM의 사용 환경이 다양해짐에 따라 많은 문제점을 야기하게 되며 따라서 센서리스 구동이 요구된다.

본 논문에서는 BLDCM의 센서리스 구동에서 정상상태 운전뿐만 아니라 안정된 초기 구동에 관한 연구를 수행한다. 정상상태 운전은 측정된 역기전력을 이용하여 회전자 위치를 결정함으로써 이루어지며, 초기 구동을 개선하기 위해 환류 다이오드로부터 측정된 전류 신호를 이용하여 초기 구동을 하게 된다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

그림 1이 전체 시스템의 기본 구성이다. 시스템은 크게 모터 구동부와 회전자 위치 측정 회로, 마이크로 컴퓨터로부터 구성된다. 모터 구동부는 마이크로 컴퓨터에서 발생한 스위칭 신호에 의해 모터에 전원을 인가한다. 회전자 위치 측정 회로는 두 가지로 구성되는데 첫째는 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출하는 회로이며 둘째는 역기전력으로부터 위치 신호를 얻어내는 필터 회로이다. 마이크로 컴퓨터는 역기전력 검출 회로에서 얻어진 회전자 위치 신호와 프리휠링 다이오드의 신호를 이용하여 모터 구동을 위한 PWM을 발생시키며, 전체적인 시스템 구동을 하게 된다.

1. 서 론

BLDCM의 역기전력은 120°의 도통 구간을 갖는 사다리꼴 형태로 이루어지기 때문에 회전자 위치 정보는 전기각으로 60°마다 바뀐다. 따라서 BLDCM을 센서리스로 구동하기 위해서는 회전자 위치 정보를 전기각으로 60°마다 검출해야 한다.

BLDCM을 센서리스로 운전하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 그중 역기전력 검출법과 프리휠링 다이오드 전류 검출법을 이용하였다.

역기전력 검출법은 고정자 권선에 유도된 역기전력을 이용하여 회전자 위치를 결정한다[1]. 3상 BLDCM의 역기전력은 한 상이 120°인 사다리꼴 파형이며 이 파형을 대역통과 필터를 이용하여 90° 위상 지연 시키면 회전자 위치를 알 수 있다. 이 방법은 고속 영역에서 모터의 속도 변화에 상관없이 일정하게 위상지연이 일어나므로써 안정적으로 회전자 위치를 찾을 수 있는 장점이 있다. 그러나 역기전력 검출 회로가 위치 신호를 감지할 수 있을 때까지 임의의 주파수로 모터를 가속시켜야 하므로 저속 영역에서 역기전력을 검출하기 어려운 단점이 있다.

프리휠링 다이오드 전류 검출법은 스위칭 소자에 역병렬로 연결된 프리휠링 다이오드의 도통 상태를 검출하여 회전자 위치 정보를 얻는다[2]. 위치 정보는 매 60°마다 프리휠링 다이오드의 도통 상태를 검출하여 얻는데 역기전력에 의해 프리휠링 다이오드에 전류가 흐르는 것은 모터의 기동 초기부터 발생하므로 저속에서도 회전자 위치 정보를 파악할 수 있다. 그러나 이 방법은 고속 운전시 회전자 위치의 검출 분해능이 저하되는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 두 방법의 장점을 조합하여, 초기 기동과정에서는 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출하여 회전자 위치를 파악하며 고속 운전시에는 역기전력 검출법에 의해 회전자 위치 정보를 파악하여 모터를 구동하는 방법을 제안한다.

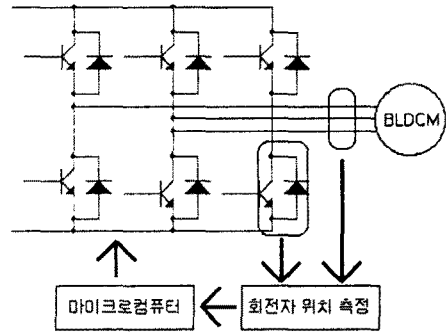


그림 1. 시스템 구성도

2.2 회전자 위치 측정

모터가 정지한 상태에서는 역기전력이 0[V]이다. 따라서 초기 기동을 위해서는 다른 방법이 필요하다. 기존의 역기전력 검출법에서는 회전자 위치를 판단 할 수 있을 만큼의 역기전력 파형을 얻을 수 있을 때까지 임의의 주파수로 가속시켰다[3]. 본 논문에서는 이러한 방법 대신 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출함으로써 기존의 역기전력 검출법에 의한 방법보다 훨씬 앞선 시점에서 센서리스 구동을 할 수 있게 한다.

2.2.1 프리휠링 다이오드 전류 검출법

그림 2는 A+와 B-에 구동 신호가 주어졌을 때의 간략화된 회로이다. 이 경우 C상이 오픈이다. 만약 A+가 오프되면 전류는 프리휠링 다이오드 D_a 를 통해서 계속 흐르다가 감소한다. 이때 C상의 전압은 다음과 같이 주어진다[2].

$$v_c = e_c + \frac{V_{CE} - V_F}{2} - \frac{e_a + e_b}{2} \quad (1)$$

V_{CE} 와 V_F 는 TR과 다이오드의 순방향 전압강하이다. 프

리휠링 다이오드 D_c 가 도통할 조건은 다음과 같다.

$$v_c < -V_F \quad (2)$$

역기전력이 사다리꼴이므로 e_c 가 0인 근처에서 e_a 와 e_b 의 합은 0에 가깝다. 그러므로 프리휠링 다이오드 D_c 의 도통 상태는 다음과 같다.

$$e_c < -\frac{V_{CE} + V_F}{2} \quad (3)$$

C상의 역기전력이 음이 되면, 개방된 상의 전류는 마이너스측 다이오드 D_c 를 통하여 흐른다.

프리휠링 다이오드 전류 검출법에 의한 구동방법은 먼저 임의의 두 상을 도통시킨 후 다음 신호에 120° 앞선 구동 신호를 출력한다. 이 때 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류를 검출해서 구동 신호를 출력하면 센서리스 제어가 시작된다.

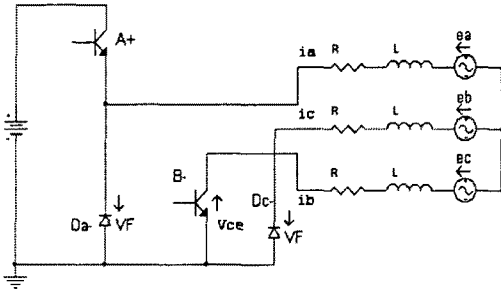


그림 2. A+와 B-에 구동신호가 주어질 때의 간략화된 회로

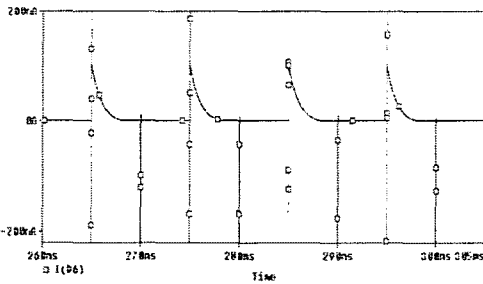


그림 3. 프리휠링 다이오드에 흐르는 전류 신호

위의 그림 3은 Pspice를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과이다. 기동 초기의 모터의 역기전력이 실제로 프리휠링 다이오드를 통하여 흐르는 것을 알 수 있으며 이 신호를 이용하여 전류 검출이 가능한지를 파악하였다.

2.2.2 역기전력 검출법

프리휠링 다이오드 전류 검출법을 이용한 구동에서 정상상태 구동으로의 변환시기를 결정하는 방법은 그림 3과 같이 측정된 B상의 역기전력 파형이 필터를 통과한 파형 S_a 와 인버터에 인가하는 신호 B+신호와의 차이가 δ 보다 작아지면 변환한다.

모터의 역기전력으로 센서 신호를 충분히 만들어 낼 수 있다고 판단되어지면 마이크로 컴퓨터는 세 개의 회전자 위치 검출 신호들을 받아서 논리적으로 여섯 단계의 인버터 신호를 만들어 낸다.

세 개의 회전자 위치신호(S_a , S_b , S_c)를 통해 인버터에 인가할 구동 신호를 생성하게 된다. 생성 공식은 다음과 같다.

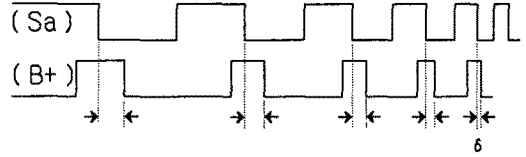


그림 4. 정상상태 구동으로의 변환 시점

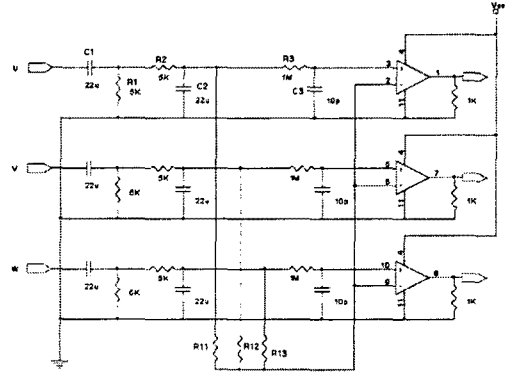


그림 5. 회전자 위치 검출용 필터 회로

$$A+ = S_b^- \cdot S_c^-, \quad B+ = S_a^- \cdot S_c^-, \quad C+ = S_a^- \cdot S_b^- \quad (4)$$

$$A- = S_b^+ \cdot S_c^-, \quad B- = S_a^+ \cdot S_c^-, \quad C- = S_a^+ \cdot S_b^- \quad (5)$$

역기전력이 측정되면 구동 신호는 90° 위상지연 시킨 신호를 바로 스위칭 신호로 쓸 수 있다. 회전자 위치 검출용 필터 회로는 그림 4와 같다. 필터를 나누어서 보면 첫째단이 대역통과 필터이며 둘째단은 고주파 잡음을 줄이기 위한 저역통과 필터이다.

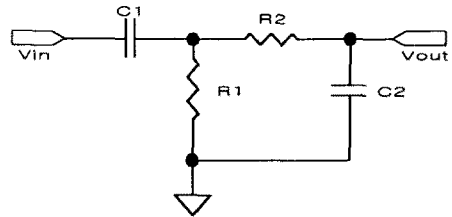


그림 6. 대역통과 필터

대역통과 필터의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_1(s) = \frac{R_1 C_1 s}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1} \quad (6)$$

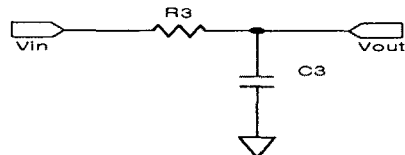


그림 7. 저역통과 필터

한편, 저역통과 필터의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_2(s) = \frac{1}{R_3 C_3 s + 1} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (7)$$

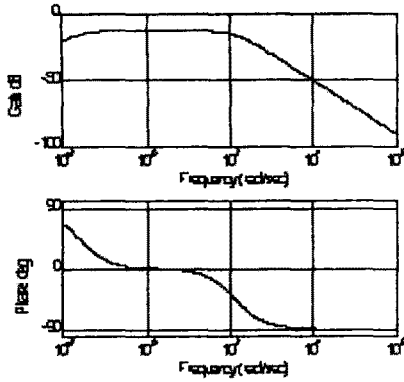


그림 8. 필터 회로의 주파수 응답

전체 전달함수는 부하효과가 무시할 만하다고 가정하면 $G(s) = G_1(s)G_2(s)$ 가 된다. 부하효과가 무시될 수 없려면 $\frac{1}{sC_2} \ll R_3 + \frac{1}{sC_3}$ 가 성립되어야 한다. 이를 위해 $C_2 \gg C_3$ 가 만족되도록 한다. 또한 그림 4의 R11, R12, R13은 가상 접지를 얻기 위한 것으로 $1/C_2s$ 보다 충분히 크면 된다.

회전자 위치 검출용 필터 회로의 주파수 응답이 그림 7에 나타나 있다. 여기서 보면 모터가 구동되는 영역에서 위상이 90° 지연됨을 알 수 있다. 그리고 크기는 주파수가 증가함에 따라 감소하는데 역기전력이 주파수에 비례하여 증가하므로 특별한 문제는 발생하지 않는다.

그림 8은 그림 4의 필터 회로를 pspice로 시뮬레이션한 결과이다. A상의 역기전력이 필터에 입력되면 대역통과 필터를 통과한 신호가 비교기에 입력되어 중성점과 비교되어 구형파로 만들어진다. 이 신호는 회전자 위치에 대한 정보를 가지고 있으며 아래 그림에서 보여지듯이 역기전력에 90° 위상지연이 된 것을 알 수 있다.

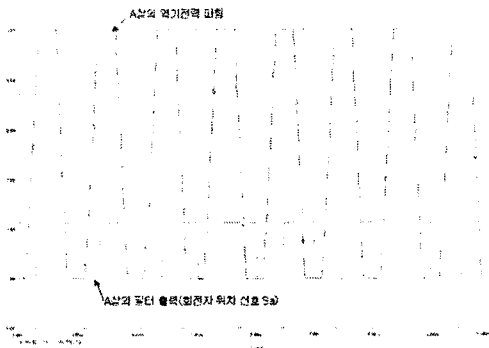


그림 9. 필터 시뮬레이션 파형

3. 실험 결과

이상의 제안한 방법을 이용하여 실제 모터를 구동하였다. 대상 모터는 축방향 자속형 250W급 3상 16극 모터로 정격 속도는 1300rpm이며 클린룸용 모터로서 일정 토크의 팬부하를 갖는다.

그림 9는 제안된 필터의 입출력 관계이다. 위 파형이 역기전력이며 아래 파형이 필터를 통과한 출력 파형이다. 위상 지연이 양호한 형태로 이루어지고 있음을 볼

수 있다.

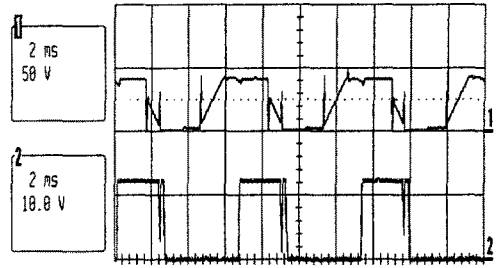


그림 10. A상의 역기전력 파형과 필터를 통과한 Sa 신호 파형

마이크로 컴퓨터는 그림 10에서 얻어진 3개의 센서 신호를 이용하여 BLDCM을 구동하기 위한 신호를 만들어 낸다.

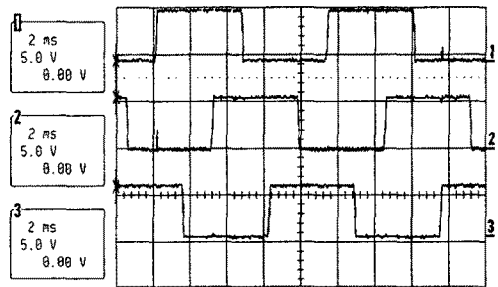


그림 11. 회전자 위치 검출 신호

4. 결 론

본 논문에서는 마이크로 컴퓨터를 이용한 BLDCM의 센서리스 구동에 관한 연구를 하였다. 역기전력 검출법과 프리휠링 다이오드 전류 검출법의 장점을 이용하여 초기 구동시에는 프리휠링 다이오드 전류 검출법에 의해 회전자 위치 정보를 파악하였으며 정상상태 운전시에는 역기전력 검출법에 의해 회전자 위치 정보를 파악함으로써 기존의 역기전력 검출법에서 문제가 되었던 기동방법을 개선하여 역기전력 검출법에 의한 방법보다 훨씬 앞선 시점에서 센서리스 구동을 할 수 있게 하였으며, 또한 안정된 기동을 할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] K. Iizuka, H. Uzuhashi, M. Kano, T. Endo, and K. Mohri, "Microcomputer Control for Sensorless Brushless motor", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.21, No.4, 595-601, 1985
- [2] S. Ogasawara, H. Akagi, "An Approach to Position Sensorless Drive for Brushless dc Motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.27, NO.5, 928-933, 1991
- [3] 원재선, 강태삼, 홍성기, "축방향 이중 회전자 브러시리스 직류 전동기의 센서리스 구동에 관한 연구", 전기학회 추계학술대회 논문집, p168-170, 1998
- [4] T. Kenjo, S. nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC motors", Sogo Electronics Publishing Company, 1986
- [5] Dennis L. Feucht, "Sensorless Start-Up Positioning of Brushless Motors", PCIM, March, 24-27, 1993