

AVR을 이용한 Sensorless BLDC의 속도제어에 관한 연구

원진국, 문지우, 김병국, 손동혁, 이병준, 조윤희
 동아대학교 전기공학과

A Study on Speed control Sensorless BLDC using AVR

Jin-kuk Won, Ji-woo Mon, Byong-kuk Kim, Dong-hyuk Son, Byung-jun Lee, Yun-hyun Cho
 Electrical Engineering, Dong-A University

Abstract - This paper is investigated the sensorless drive for BLDC motor using microprocessor. Since the BLDC motor should be commutated according to a rotor position, the sensors are required to detect the position. But the sensors increase cost and volume, complicate the motor configuration, and do not operate properly in some operating environments such as high temperature conditions, so that the necessity of sensorless commutation algorithm is getting increased. This paper is proposed the method to drive BLDC motor without position-detecting sensor using Back EMF. Back EMF commutation method was implemented the sensorless drive system which could control the rotational speed and monitor the behavior of a motor.

1. 서 론

BLDC(Brushless DC) 전동기는 DC 전동기에서 브러시, 정류자 등 기계적인 접촉부 대신에 반도체 소자를 이용하여 정류(Commutation)하기 때문에 무정류자 전동기라고도 한다. 브러시(Brush) 방식 DC 전동기는 영구 자석이 고정되어 있고 아마추어가 회전하는 구조를 가지고 있다.

이에 비해서 BLDC 전동기는 회전자와 고정자가 그 역할이 바뀌어 있는 구조를 가지고 있다. 반면 BLDC 전동기는 정류를 위한 브러시가 없기 때문에 전기적 기계적 노이즈(noise)가 작고 브러시를 보수, 유지할 필요가 없다. 또한, 브러시를 사용한 정류를 할 때 발생하는 스파크가 없기 때문에, 폭발 위험성이 있는 곳에서도 사용이 가능하다. BLDC 전동기는 브러시가 없기 때문에 DC전동기와 달리 회전자와 고정자의 위치에 따라 여자 전류를 외부에서 공급해 주어야 한다. 이와 같은 구조의 특성 때문에 BLDC 전동기는 회전자와 고정자의 위치 정보가 필요하고, 보통 위치 검출 센서를 부착하여 위치 정보를 얻는다. 위치 검출 센서로는 리졸버(resolver) 및 광학 엔코더, 홀 센서, 등이 있는데, 소형 정밀 전동기에서는 홀 센서를 주로 사용한다.[1,2]

위치 검출 센서는 전동기의 가격 및 크기를 증가 시키고, 전동기 구조를 복잡하게 할 뿐만 아니라 주변 온도나 습도 등 작동 환경에 제한을 받는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 위치 검출 센서 없이 BLDC 전동기를 운전할 수 있는 데 센서리스 구동 방법 및 알고리즘을 연구하고자 한다.

회전자와 고정자의 위치 정보를 고정자의 역기전력(Back EMF)으로 얻는 방법을 채택하였다. 전동기의 회전자와 고정자로부터 각 상 주기적으로 발생하는 역기전력으로 위치 정보를 얻을 수 있다.

하지만 역기전력을 얻기 위한 두 가지로, 전동기 구동시에는 별도의 강제 구동 모드가 필요하고 저속 운전 시 역기전력이 발생되지 않는다는 점이다.[3]

본 논문에서는 BLDC에서 센서 없이 역기전력을 이용한 BLDC의 속도 제어 알고리즘 개발에 중점을 두고 위 알고리즘의 이론적 검토, 실험 및 비교, 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 BLDC 전동기의 역기전력

고정자 권선에 발생하는 역기전력은 Faraday의 법칙에 의해 다음 식을 얻을 수 있다.

$$e_a = \frac{d\Phi_a}{dt} \quad (1)$$

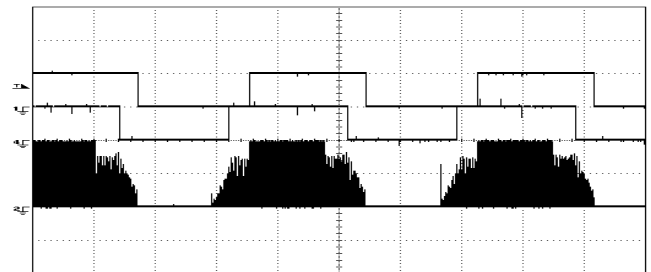
($e_a = A$ 상의 B_{emf} , $\Phi_a = A$ 상 권선의 쇄교자속)

$$e_a = \frac{d\Phi_a}{dt} = \frac{d\Phi_a}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = w \frac{d\Phi_a}{d\theta} \quad (2)$$

($\theta = \text{rotor 상대 위치 of phase } A, w = \text{speed of rotor}$)

2.1.1 정류 타이밍

Faraday의 법칙에서 보듯이 그림 1과 같이 회전자와 고정자의 상대위치에 대한 함수가 사다리꼴 모양으로 나타나고 전류가 인가되지 않는 상에는 Zero-Crossing Point(ZCP)가 존재하게 된다.



<그림 1> 홀신호 및 역기전력, 역기전력 비교신호

Faraday의 법칙에서 보듯이 그림 1과 같이 회전자와 고정자의 상대위치에 대한 함수가 사다리꼴 모양으로 나타나고 전류가 인가되지 않는 상에는 Zero-Crossing Point(ZCP)가 존재하게 된다. ZCP로 홀센서 없이 간접 회전자 위치 파악이 가능해지며 Comparator을 사용, 단자전압과 중성점 비교로 역기전력 ZCP를 검출할 수가 있다. 하지만 실제 정류 할 때와 전기적 30° 만큼에 해당하는 시간차가 생기고 소프트웨어적으로 위상차이를 보상시켜야 한다는 것이다.

<표 1> 전동기 사양

정격 사양 및 정수	수치
정격 용량	400[W]
정격 전압	24[V]
정격 전류	10[A]
정격 속도	2400[rpm]
상 저항	0.5[Ω]
인덕턴스	10[mH]

2.2 시동

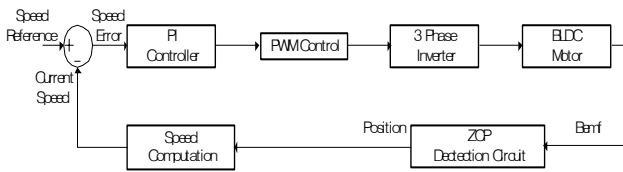
1) mode 1. align and go

모터 정지 시 및 저속일 경우 역기전력 검출이 불가하기 때문에 Sensorless Motor 시동 방법 중 많이 사용되는 Align and Go 방식이다. Motor 정지시 초기 회전자와 고정자의 상대위치를 알 수만 있다면, 정류 수행이 가능하다. Align and Go 방식은 초기 위치를 여섯가지 상대위치 중의 하나로 정렬(aligned)하여 6-step 정류를 수행한다. 그 후 정류 신호는 CCW 및 CW일 때 프로그래밍으로 인한 강제 정류를 수행할 수 있으며, 정렬이 완전하게 이루어지기까지의 시간을 기다리며 그 시간까지 진동현상을 보이며, 정렬하는 동안에 모터에 과다한 전류가 공급되어 모터의 성능을 저하시킬 수 있다는 문제점이 있다

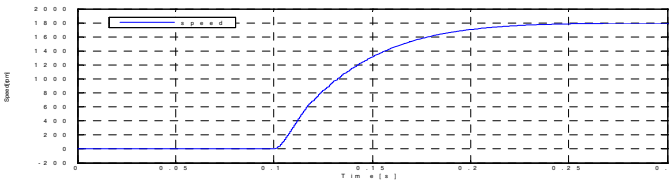
2) mode 2, 임의의 연속적인 상에 의한 가속 모드
 mode 1 수행 후 전류를 전동기에 인가하면, 회전자는 인가된 정류신호에 해당하는 위치로 전기각 60° 만큼 이동하게 된다. 저속일 경우 Comparator에 사용하여 단자 전압과 중성점 전압을 비교한 결과 유출이 힘들어 큰 역기전력을 얻기 위해, 회전자와 고정자의 상대위치에 따른 정류 대신, 임의의 결정된 시간에 의해 6-step을 반복적으로 전동기에 인가하여 속도를 증가시킨다.

3) mode 3. 역기전력 검출 후 페루프 속도 제어
 충분한 역기전력을 검출할 수 있는 속도에 도달한 후에는 역기전력을 이용한 페루프로 정류를 수행, 이러한 초기 구동의 문제점은 회전자와 고정자의 상대위치를 파악하여 그에 따른 정류를 수행하기 전까지는 회전자가 최대의 토크를 받으면서 회전할 수 없고, 유연한 시동을 구현할 수가 없으며, 진동이 발생한다.[4]
 Sensorless BLDC Motor의 속도 검출 방법으로 ZCP 클럭의 입력을 이용한 T-method이다. T-method란 일정한 시간동안 시간동안 ZCP 검출회로부터 입력되는 펄스를 카운트하는 방식으로 전동기의 속도는 카운터 값에 비례하게 된다.[4]

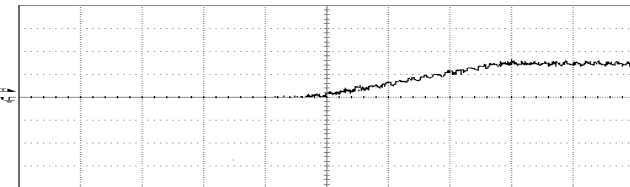
3. 시뮬레이션 및 실험



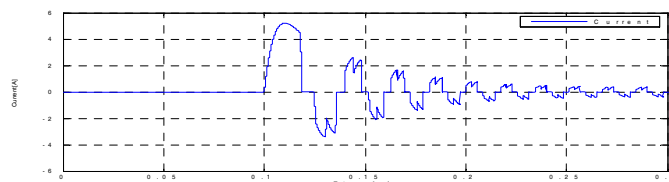
<그림 2> Sensorless BLDC 전동기 속도제어 루프



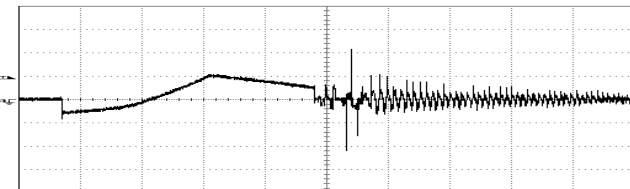
<그림 3> 속도 응답 특성(1800rpm, 200rpm/div, 50ms/div)



<그림 4> 기동시 실제 속도 응답 특성(200ms/div)

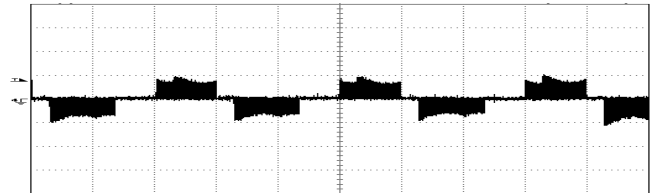


<그림 5> 전류 응답 특성 (1800rpm, 50ms/div, 2A/div)

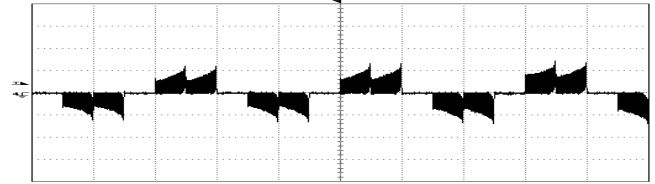


<그림 6> 기동시 전류 실제 응답(200ms/div, 2A/div)

시뮬레이션을 통한 속도 응답 특성과 전류 응답 특성을 그림 3과 그림 5와 같이 속도는 250ms 후 수렴치(1800rpm)에 도달하고, 그림 4와 그림 6에서 자체 DAC 프로그래밍을 통한 속도 응답특성과 전류 응답특성에서 지령속도(1800rpm)로 추종, 즉 역기전력을 내어 signal을 내기 위한 기동 시 400ms후 도달하게 되고 실제 전류파형에 있어 align시 전류가 증가하다가 강제 구동 및 sensorless 모드에 접어들면 400ms 후 안정화된다.



<그림7> Hall 신호를 이용한 상전류(5ms/div, 500mA/div)



<그림 8> Sensorless BLDC 상전류(5ms/div, 500mA/div)

1800rpm 기동시 Hall 신호를 이용한 일반 BLDC(그림 7에서 Hall 신호 위치불안으로 정확한 상전류에는 문제점이 발생할 수 있다)에서의 상전류 파형과 Sensorless일 경우의 상전류 파형을 비교할 경우 Hall 신호보다 Sensorless모드일 경우 좀 더 나은 전류파형을 얻을 수 있었다.



<그림 9> Sensorless BLDC Hardware

4. 결 론

최근 산업자동화 기기 등의 동력 장치는 기존의 DC전동기와 유도전동기 대신 고효율, 제어성 및 친환경성이 우수한 BLDC 전동기의 사용이 요구되고 있다. 하지만 BLDC 전동기의 구동시키기 위해서는 전동기의 회전자 위치를 아는 것이 필수적이기 때문에 센서가 필요하고, 그에 따라 여러 가지 환경적 제약을 받게 된다.

본 논문에서는 회전자 위치 검출을 하기 위해 쓰여지는 홀 센서나 엔코더를 이용하지 않고, 고정자 권선의 유기되는 역기전력 성분을 이용하여 회전자 위치를 검출하는 센서리스 BLDC 전동기의 속도 제어 구동 시스템을 연구하였다.

역기전력의 ZCP검출을 위해 Comparator을 이용한 회로를 구성하였으며, ZCP에 의한 회전자의 위치 검출을 위해 센서리스 BLDC Motor의 구동하는 알고리즘을 개발하였다. 또한, 초기 기동 구간에서 align and go 방식의 알고리즘을 이용한 기동방식을 구현하고, 정상 운전시에는 역기전력 신호에 의한 속도 제어가 가능한 구동 제어시스템을 개발하였다.

제어시스템은 마이크로프로세서(ATMEGA-16)를 사용하였으며, BLDC 전동기의 속도 제어는 시스템에 별도의 부가적인 장치없이 고정자 권선의 역기전력 파형의 ZCP 신호를 입력받아 PI제어를 하였다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사 전력기반조성사업센터에서 지원한 전력변환시스템 신기술 연구센터의 사업으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] 김태현, "Sensorless BLDC 전동기의 속도 제어에 관한 연구", 동아대, 2005
 [2] 장한제, "브러시리스 직류 전동기용 새로운 센서리스 드라이브 개발에 관한 연구", 전력전자학회 논문집, 제6권 3호, pp223-230
 [3] 조형민, "DSP를 이용한 브러시리스 DC 모터의 센서리스 구동 및 속도 제어에 관한 연구", 한양대학교, 1998
 [4] Jianwen Shao, "A Nover Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC(BLDC) Motor Drive for Automotive Fuel Pumps", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 39, No. 6
 [5] R. Krishnan, "Electric Motor Drives", New Jersey : Prentice Hall