

소형 BLDC MOTOR의 SENSORLESS 기동방법에 관한 연구

노승모*, 박승규**, 윤태성**, 안호균**, 서정량***
 *,**창원대학교 전기공학과,***(주)모터텍

Sensorless Starting Method of Brushless DC Motor

Seung Mo Noh*, Seung Kyu Park**, Tae Sung Yoon**, Ho Kyun Ahn**, Jung Rang Seo***
 ,Dept. of Electrical Eng. Changwon National Univ. *MotorTek Ltd.

Abstract - BLDC 전동기는 AC서보 일종으로 스위칭 소자를 이용한 인버터 회로를 통해 정류하므로 정류 시 회전자 위치 정보를 회전자에 홀 센서나 레졸버와 같은 위치 센서를 부착하여 위치 정보를 얻는다. 위치 센서는 전동기 가격 및 크기를 증가시키고 구조를 복잡하게 만들기 때문에 위치 검출 센서 없이 구동하는 센서리스 구동 방법이 최근 많이 연구되고 있다. 센서리스 구동 방법에 가장 많이 쓰는 방법이 역기전력을 이용하는 것이다. 역기전력을 이용하는 경우 전동기가 고속으로 회전 시 비교적 잘 적용되지만 정지 상태에 있거나 저속에서 운전 시, 역기전력이 충분히 크지 않을 경우 적용이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 BLDC 전동기의 3상 중 2상의 단자전압을 이용하여 센서리스 구동 방법을 제안한다. 정지 상태에서의 회전자 위치 파악은 DC 링크단에 전류 센서를 사용하여 초기 위치를 파악하고 한상의 단자전압을 검출하여 각 상의 여자 시점을 결정하여 초기 구동함으로써 기존의 다른 센서리스 회로의 간략화와 효율적이고 구현이 간단하며 무엇보다 가격적인 측면에서 여타의 방법에 비해 유리하다.

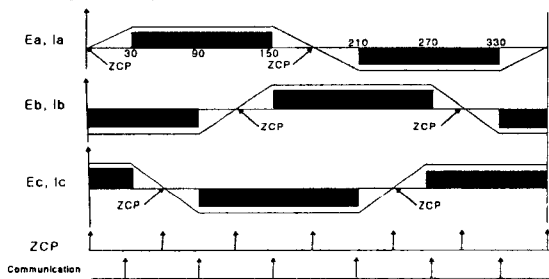
1. 서 론

BLDC 전동기는 넓은 속도 범위에 대하여 높은 효율을 유지하고 제어가 가능하다. BLDC 전동기는 회전자에 부착되어 있는 영구자석으로부터 자속을 공급받기 때문에 최대 토크를 발생시키기 위해서는 회전자의 위치를 정확하게 알고 있어야 한다. 회전자의 위치 정보를 얻기 위해서는 회전자에 레졸버(Resolver)나 엔코더(Encoder), 또는 홀센서(Hall Sensor)와 같은 위치 센서가 필요하다. 위치 센서의 부착은 전동기 가격 상승뿐 아니라 부피의 증가, 사용 환경의 제약 등의 많은 문제를 유발한다. 그러나 근래에는 이러한 위치 센서를 전혀 사용하지 않는 센서리스 제어에 연구가 활발하게 진행되고 있다. 센서리스 구동 방법에는 비 여자상의 순환 전류를 이용하는 방법^[1], 고주파 전압을 주입하는 방법^[2], 역기전력을 적분하는 방법^[3], 단자전압 파형을 이용하는 방법^[4] 등 여러 가지가 있으나 구현의 용이성 등의 이유로 단자전압의 정보로부터 얻어지는 시점 ZCP(Zero Crossing Point)를 찾아 30°의 위상 지연을 시켜 전환시점을 결정하는 방법으로 이러한 방법은 제어 회로가 간단하고 비교적 넓은 속도영역에서 센서리스 제어가 가능하다는 장점을 가지고 있어 현재 널리 사용되고 있다. 그러나 전동기가 고속으로 회전하고 있는 경우에는 비교적 잘 적용되지만, 정지 상태에 있거나 저속 영역에서 운전 되고 있는 경우, 역기전력이 없거나 충분히 크지 않아 적용이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 소형 BLDC 전동기를 대상으로 DC 링크단에 전류 센서 한 개만 사용하여 정지 상태에서 회전자 초기 위치를 파악하고 초기 구동하는 방법을 제안 한다^[5]. 제안한 방식은 실험을 통하여 타당성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 BLDC 센서리스 구동원리

BLDC 전동기에서는 항상 두 상이 동시에 여자 되면 여자 되지 않는 개방된 상이 항상 존재하게 된다. 개방된 상의 역기전력은 개방 구간 내에서 항상 최대값에서 최소값까지 감소하거나 최소값에서 최대값까지 증가한다. 따라서 이 구간 내에서는 회전자 위치가 항상 쏠리는 위치 즉 ZCP(Zero Crossing Point)를 지나게 된다. 그러므로 개방된 구간에서 역기전력을 검출하여 ZCP를 찾아내면 그때의 회전자 위치를 알 수 있다. 그림 1은 이상적인 경우 전동기의 역기전력과 ZCP 및 전환 시점을 나타내고 있다.



〈그림 1〉 이상적인 경우 역기전력, ZCP 및 전환 시점

2.2 센서리스 제어 방법

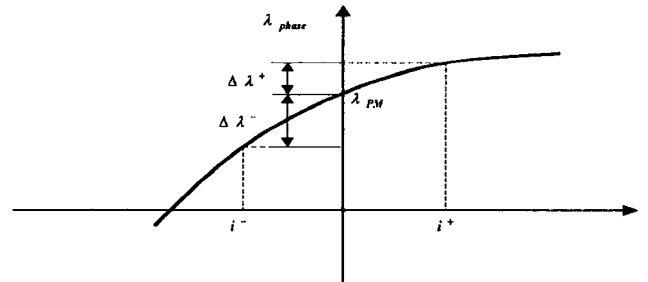
2.2.1 회전자 초기 위치 추정 방법

BLDC 영구자석이나 권선 구조로 이루어진 철심, Slot 혹은 요크에서는 자속의 포화현상이 발생 할 수 있으며 또한 전류는 자속의 포화에 영향을 준다. 자속의 포화 곡선으로부터 전류를 인가 시 포화 곡선에 의한 입력 전류의 차이를 파악 할 수 있게 된다. 예를 들어 두 상에 전류 (i_{phase})를 인가 시 모터의 자기 회로에서 모터에 흐르는 전체 자속 (λ_{phase})는 영구 자석에 의한 자속과 전류에 의한 쇠교 자속의 합으로 나타냅니다.

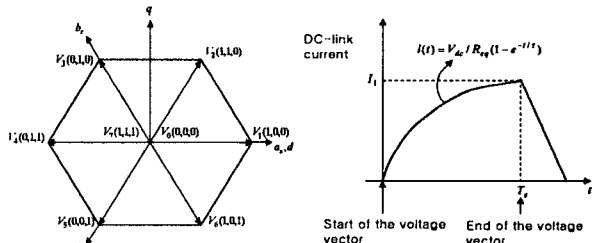
$$\lambda_{phase} = \lambda_{PM} + L_{phase} i_{phase} \quad (1)$$

여기서 L_{phase} 는 여자 된 상의 전체 인덕턴스이자 전류와 회전자의 위치에 따른 함수 즉 모터에 흐르는 전체 자속은 전류의 영향에 따라 증가 또는 감소되며 자속의 포화 정도를 결정한다. BLDC와 같은 영구 자석 회전자 같은 경우는 회전자에 의한 고정 Flux성분이 존재하며 이를 고려한 것이 λ_{phase} 가 된다.

전동기에 있어서는 BLDC 전동기는 회전자의 자석이 만들어 내는 자속이 고정자 코어를 통과하면서 코어에 부분적인 포화 현상으로 인하여 고정자 권선에 일정한 전압을 인가하였을 때 증가하는 전류의 시간 변화율, 즉 인덕턴스가 회전자 자석의 위치에 따라 변화하게 된다.



〈그림 2〉 모터에 인가한 전류에 대한 모터에 흐르는 전체 자속



〈그림 3〉 전압 벡터 인가 시 전류의 시간 변화율

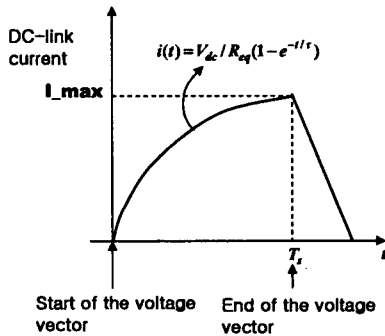
BLDC 3상 전동기에는 6개의 여자상이 있으므로 3쌍의 전류 i^+ 와 i^- , 즉 회전자 위치 판별을 위한 3쌍의 전류를 표1과 같이 정의한다. 초기 위치 추정 방법은 <그림 3>과 <표 1>의 6개의 여자상 즉 6개의 전압 벡터를 인가하여 일정 시간 후 상승 된 전류의 대소 관계를 통해 회전자의 위치를 60도 범위로 추정하는 과정을 순서대로 나타내면 다음과 같다. 1) 먼저 V_1 과 V_4 를 인가하여 일정 시간 후 상승 된 전류를 i_1 과 i_4 했을 때 i_1 과 i_4 의 대소 관계를 비교한다. 2) i_1 과 i_4 의 대소 관계를 통해 회전자가 위치한 180도 범위 안의 나머지 두 전압 벡터를 인가하고 각 방향의 전류를 측정한다.

3) 세 전압 벡터의 전류의 대소 관계를 통해 60도 범위 안에서 회전자의 위치를 추정 할 수 있다.

Rotor Position	Firing Phase	Voltage Vector	Current
330 ~ 30	AB	V1	i_1^+
30 ~ 90	AC	V2	i_2^-
90 ~ 150	BC	V3	i_3^+
150 ~ 210	BA	V4	i_1^+
210 ~ 270	CA	V5	i_2^+
270 ~ 330	CB	V6	i_3^-

표1. 회전자 위치에 따른 경류 테이블

2.2.2 제안된 초기 구동



〈그림 4〉 전압 벡터 인가 시 전류의 최대치

앞에서 전동기가 정지 한 상태에서 회전자 초기 위치 추정 방법으로 회전자의 초기 위치를 알 수 있다. 전동기의 초기 위치 판별 후에 모터를 최대 토크로 구동시키기 위해서는 한 방향의 최대 토크를 발생시키는 여자상 o.f 정류해야 한다. 각 전압 벡터의 전류 최대치 <그림4>와 같이 전류 최대치를 검출하여 각 전압 벡터에 I_max를 인가하여 회전자를 구동시키는 방법을 제안한다. 기존에는 구동과 함께 회전자 위치 판별을 위한 필스를 동시에 인가해야 했다. 본 논문에서 제안하는 초기 구동은 초기 위치 판별 후 다음의 전압 벡터에 I_max치까지 상승하는 일정 주기를 검출하여 검출되어진 주기 동안 전류를 인가하여 회전자를 구동 시킨다. 만약 회전자가 V1의 위치하였을 경우 V2의 전류 i2_max값을 인가하여 회전자를 V2의 위치로 구동시킨다. 즉 V2-V6까지의 I_max치를 검출하여 I_max치의 주기 동안 전류를 인가하여 회전자를 구동 한다. 본 논문에서 제안된 초기 구동은 기존의 초기 구동법보다 보다 간단하게 구현되고 효율적인 것을 알 수 있다.

2.2.3 역기전력을 이용한 위치 검출

BLDC 전동기는 한 정류 단계에 두 상에만 전류가 흐르고, 나머지 한 상에는 전류가 흐르지 않는다. 회전자가 회전하면 각 상에는 역기전력이 발생한다. 이 때 전류가 흐르지 않는 상에 발생하는 역기전력을 위치 검출에 사용한다. 단지 전압을 측정함으로써 그 속에 포함된 역기전력 성분의 특성을 이용해 위치 검출을 할 수 있다. 역기전력은 회전자와 고정자의 상대 위치에 대한 함수로 <그림 1>rhk 같이 사다리꼴 모양으로 나타나게 된다. 따라서 비 여자상에는 역기전력의 부호가 바뀌는 ZCP(Zero Crossing Point)가 존재한다.

예를 들어 AB상을 정류하는 구간에서, 전류의 변화를 무시하고 $i_a = -i_b$ 이라 하면 식(2)는 다음과 같이 정리된다.

$$V_a = 2Ri_a + e_a - e_b \quad (2)$$

또한, 중성점 전압 V_n 과 C상의 정압 V_c 는 다음과 같이 표현 된다.

$$V_n = -e_b + i_a R \quad (3)$$

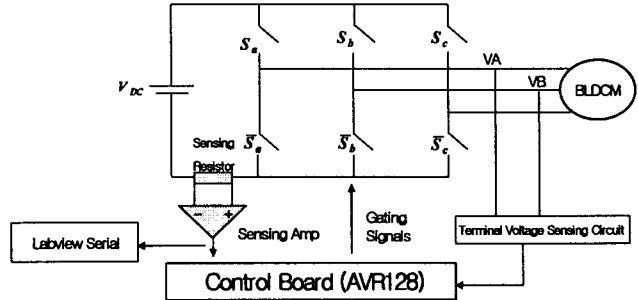
$$V_c = V_n + e_c = i_a R + e_c - e_b \quad (4)$$

위의 연산을 통하여 마이크로프로세서에서 회전자의 위치를 검출 할 수 있다. 단자전압과 중성점 전압을 비교하여 단자전압이 중성점 전압보다 크면 ON신호를 작으면 OFF신호를 출력하여 회전자가 회전함에 따라 홀 신호를 얻는다. 하지만 역기전력의 ZCP는 전기적으로 30도의 시간 차이가 생긴다. 본 논문에서는 추가적인 ZCP회로가 필요 없이 마이크로프로세서의 ADC를 이용하여 3상중 2상의 단자전압을 이용하여 홀 신호(Sa, Sb) 즉 역기전력 신호를 검출하고 1 상의 단자전압의 홀 신호(Sc)는 Sa, Sb의 신호에서 120도 시간 차이를 주어 Sc를 검출하여 위치 검출을 한다. 또한 속도에 대한 정보를 바탕으로 전기각 30도에 해당하는 시간 차이를 보상하여 정류 신호를 인가한다.

2.3 실험 결과

2.3.1 실험 장치 구성

본 논문에서 제안된 초기 위치 추정 및 기동 방법의 타당성을 검증하기 위해서는 <그림 5>와 같은 실험 장치를 구성 하였다. 전동기의 파라미터는 표2에서 나타낸다. 전동기는 12V 직류 전원을 입력으로 하는 MOSFET 3상 인버터로 구동되며 인버터의 게이팅 및 알고리즘 구현을 위해 ATmega AVR128 제어 보드를 사용하였고 DC link단에는 한 개의 센싱 저항을 사용하여 DC 전원으로 들어오는 전류를 측정하여 Control Board와 Labview Serial을 통해 데이터를 실시간으로 확인한다.



〈그림 5〉 실험 장치의 구성

Number of Pole	12
Number of Slot	9
Operating DC Voltage	12V
Inductance across one phase to the other two phases	$2L=190[\mu H]$
Winding resistance per phase	$2R=1.8[\Omega]$
Rated speed	7200r/min
BackEMF constant	0.22mV/rpm

표2. BLDC 전동기 파라미터

3. 결 론

본 논문에서는 소형 BLDC 전동기의 위치 센서를 사용하지 않고 효과적으로 기동시킬 수 있는 방법을 제안한다. 우선 높은 기동 토크를 얻기 위해 전동기가 정지 시 초기 위치를 추정하는 방법을 LabView Serial을 통해 전압 벡터의 전류 데이터를 실시간으로 검출하여 전류의 대소비교를 통해 회전자 초기 위치 추정 방법과 추정된 초기 위치에서 각 전압 벡터의 I_max치를 검출하여 역기전력의 크기가 충분히 커지는 동기속도까지의 초기 구동 방법을 제안 하였다. 회전자가 역기전력을 충분히 측정할 수 있는 속도에 이르면 역기전력을 이용한 두동 방법으로 전환한다. 제안된 방법의 유효성은 Optical Disk Drive의 spindle motor를 대상으로 한 실험을 통해 확인하였다. 제안된 방법은 회전자 위치에 따른 인덕턴스의 변화를 이용하여 위치를 판별하기 때문에 다른 기존의 방법들에 비해 효율적이고 구현이 간단하다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] S. Ogasawara and H. Akagi, "An Approach to Position Sensorless Drive for Brushless DC Motor", IEEE Trans. on Industry Application, vol.27, pp. 928-933, September/October 1991
- [2] J. Moreira, "Indirect Sensing for Rotor Flux Position Permanent Magnet AC Motors Operating in a Wide Speed Range", IEEE Trans. on Industry Application Society, vol. 32, pp. 401-407, 1996
- [3] R. C. Becerra, et.al, "Four-Quadrant Sensorless Brushless ECM Drive", APEC. Conf. Rec., pp. 202-209, 1991
- [4] J.Shao, D.Nolan, and T.Hopkins, "A Novel Direct BackEMF Detection for Sensorless Brushless DC Motor Drives", APEC Conf. Rec., pp. 33-38, 2002
- [5] G. H. Jang, J. H. Park and J. H. Chang, "Position detection and start-up algorithm of a rotor in a sensorless BLDC motor utilizing inductance variation", IEE Proc. Electric Power Application, vol.149, pp. 137-142, 2002