

간단한 전압 검출 회로를 이용한 BLDC 전동기의 센서리스 제어

고성철, 안준선, 이주
한양대학교 전기공학과

Sensorless Drive for Brushless DC Motor Using Simple Voltage Detecting Circuit

SUNGCHUL GO, JOONSEON AHN, IU LEE
HANYANG UNIVERSITY

Abstract - Because of its cost effectiveness, the Brushless DC Motor(BLDCM) is focused by the industry these days. Considering the constant back-EMF region of the BLDCM, only a simple position information should be provided for constant torque control. From this point of view, using expensive position sensors, such as encoder, resolver, etc, decreases the cost effectiveness of the BLDCM.

The Proposed detecting circuit detects position of zero crossing point (ZCP) then relative position could be calculated from ZCP. This circuit is robust to noise because of working in the current level. BLDCM is driven from the position information by the ZCP. The reliability on BLDCM sensorless control using the voltage detecting circuit is shown through simulation using Matlab.

1. 서론

BLDCM(Brushless DC Motor)는 상 별로 역기전력이 일정한 구간을 이용하므로, 전류에 토크가 직접 비례하게 되어 균일한 토크를 발생시킬 수 있기 때문에 성능이 좋고 제어방법 또한 간단하다. 다만, 역기전력이 일정한 구간을 이용하기 위하여 위치 검출 센서가 필요하다.[3]

따라서 BLDCM의 센서리스 구동 방식에 대한 많은 연구가 진행되어, 전동기의 수학적 모델링을 이용한 복잡한 계산 방식과 전류와 전압을 얻기 위해 복잡한 회로를 사용하는 방식에서, 최근에는 역기전력 검출 신호를 이용하는 방식이 연구되고 있다.[1][2] BLDCM은 한 상에서 전기 각 2π 동안 역기전력이 0이 되는 지점(ZCP)이 두 번 존재하므로 3상의 경우는 총 여섯 번 존재하여 이 정보를 이용하면 60° 의 해상도로 제어가 가능하다.[2] 인버터의 비 도통 구간에서 상 전압을 측정하면 ZCP에 대한 정보가 나타난다. 기존의 역기전력 검출 방법은 비교기를 이용하였으나 이는 스위칭 천이 시 발생하는 고주파 노이즈 신호에 취약하다.[6][7]

따라서 본 연구에서는 잡음에 의한 영향을 최소화하여 신뢰성을 향상시키고 저렴한 비용으로 구현 가능한 BLDCM의 역기전력 검출 회로를 제안하고, 이를 Matlab Simulink를 이용하여 센서리스 제어가 가능함을 검증하였다.

2. 본론

2.1 역기전력 검출 회로

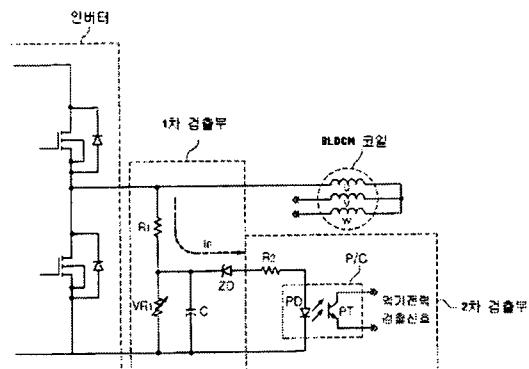


그림 1 제안된 역기전력 검출 회로.

본 논문에서 제안한 검출 회로는 BLDCM의 코일의 전원인가 단에 연결되어, 입력 전압이 기준레벨 이상인지를 확인하는 1차 검출부와 입력된 전류의 레벨을 확인하여, 기준 레벨 이상인 경우 역기전력 검출 신호를 출력하는 2차 검출부로 구성 되며 자세한 도면은 그림 1에 있다. 1차 검출 부는 코일의 전원라인에 역방향으로 연결되어 역방향 인가전압이 기준레벨이 이상인 경우 제너레이터 다이오드가 도통 되어 전류를 2차 검출부로 인가하며, 포토커플러를 이용하여 역기전력 검출 신호를 발생시킨다. 제안한 BLDCM의 역기전력 검출 회로는 전압을 기준으로 역기전력 발생을 판단하면서, 잡음신호의 에너지가 작은 점을 이용하여, 잡음을 걸러내어 별도의 잡음제거장치나 PWM 지연회로, 논리회로 등을 구비하지 않고도, 잡음을 강한 특성을 나타내며, 역기전력 검출 결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있다.

2.2 Modeling

Matlab을 사용하여 BLDCM 및 검출 장치 및 제어장치를 모델링 하였다. 역기전력 검출 회로는 A상에만 사용하여 π 의 주기로 발생하는 검출 신호를 사용하였다. Bipolar PWM 방식을 사용하여 전체 모델링은 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 크게 (1) BLDC Motor, (2) 제어기, (3) 역기전력 검출 회로의 모델로 이루어져 있으며 모델링에 사용된 모터의 시방은 표 1과 같다.

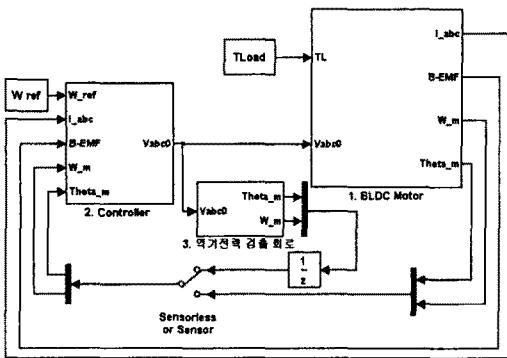


그림 2 BLDCM 센서리스 제어 전체 모델링.

표 1. BLDCM의 시방.

항 목	값
정격 토크	0.9879 Nm
정격 속도	2900 RPM
입력 전압	48 V
극 수	4
공극 길이	0.5 mm
적층 높이	75 mm
선간 저항	0.462 [Ω]
슬롯 수	6

2.2.1 BLDC Motor 모델링

BLDCM의 상 전압 방정식은 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & 0 \\ 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & L_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

또한 토오크 및 속도는 식(2),(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = k_T \Phi i \quad (2)$$

$$w = \int_0^t \frac{(T - T_L)}{J} dt \quad (3)$$

위치각과 속도를 이용하여 해당 크기의 역기전력을 발생한다. BLDC Motor 모델은 그림 3에 나타내었다.

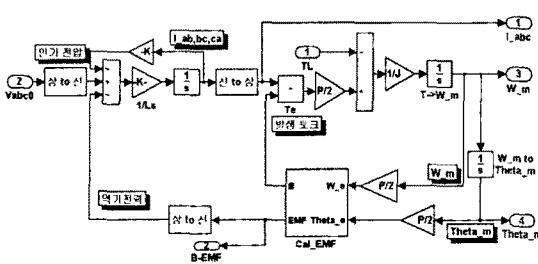


그림 3 Brushless DC Motor 모델링.

2.2.2 Controller 모델링

속도, 전류 제어기는 안티와인드업이 고려된 PI 제어기를 사용하였으며 Gain 값은 제어기의 대역폭과 속도 제어기는 관성, 마찰계수, 전류제어기는 저항, 인터턴스 값을 사용하여 결정하였다.[5] 제어 모델에서는 전류 제어기의 출력 전압의 값에 의하여 드라이버 비를 결정하여 바이풀라 PWM 방식을 이용하여 인버터 스위칭 신호를 발생시키고, 그 신호에 의해 상 전압이 BLDCM과 역기전력 검출 회로 모델에 인가되는 구조이다. 자세한 제어기 모델은 그림 4에 나타내었다.[4]

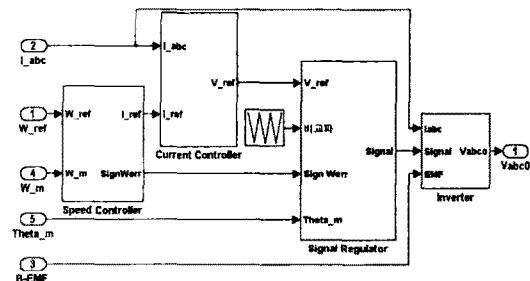


그림 4 Controller 모델링.

2.2.3 역기전력 검출 회로 모델링

역기전력 검출 회로 모델은 그림 5에 나타나 있으며, 크게 ZCP를 검출하는 1차 검출부, 2차 검출부와 디지털 신호로 변환하고 그 신호를 이용하여 위치각과 속도 정보를 계산하는 Calculator로 구성 된다.

1차 검출부는 입력 단에 전압이 인가되면 R1 저항과 가변저항 VR1의 비에 의해 결정된 기준 레벨 이상의 역방향 전압이 인가되는 경우 제너레이터오드(ZD)가 도통되어 2차 검출부로 전류를 인가하면, 2차 검출부가 동작하게 되는데, ZD를 통해 전달된 전류에 의해 발광소자(PD)가 동작하고 이를 전기 신호를 출력하는 수광 소자에 의해 포토커플러(P/C)의 수광 단에도 전류가 흐르게 되며 ZD를 통해 전달된 전류와 2차 검출부의 출력단에 흐르게 되는 전류의 크기 사이에는 비선형적인 관계가 성립하여 선형의 관계가 성립하는 구간별로 나누어 전류가 출력 되도록 구현하였다.

인버터 스위칭 천이에 의해 발생한 잡음이 이 회로에 영향을 줄 경우 일정 레벨 이하의 전압을 갖는 잡음은 1차 검출부에서 차단되고, 기준 레벨 이상의 크기를 갖는 잡음이 유입되어 ZD가 도통 되더라도, 포토커플러(P/C)가 동작할 정도의 충분한 전류가 흐르지 못하게 된다.

그리고 2차 검출부의 출력 단에는 5[V]의 전압과 3.3[KΩ]의 저항이 연결되어 있어 디지털 신호로 변환되며, 이 신호를 이용하여 Calculator에서 속도와 위치각을 계산하게 된다.

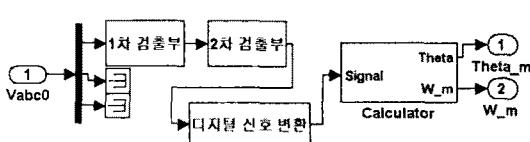


그림 5 역기전력 검출 회로 모델링.

2.3 Simulation.

센서리스 제어에 사용할 속도 정보는 검출 신호의 상승 구간을 트리거해서 전기각 2π 주기로 생성되어, 정확한 ZCP의 검출을 위한 1차 검출부의 가변저항 값을 설정하지 못하였을 경우를 대비하였다. 정격 부하, 정격의 50% 부하, 무부하의 상황에서 역기전력 검출신호를 이용하여 정상 상태에서 센서리스 제어를 수행하였으며, 정격 부하와 정격 속도는 표1에 있다. 앞의 세 가지 조건에 따른 시뮬레이션에서 부하 토크 외의 Parameters 값과 센서리스 전환 시점은 모두 동일하다.

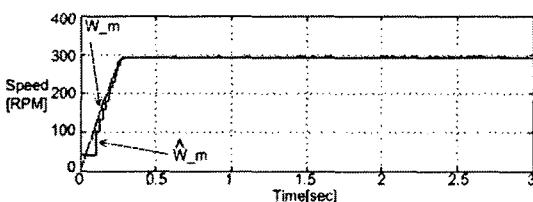


그림 6 센서리스 제어 시 속도파형(정격 부하 100%)

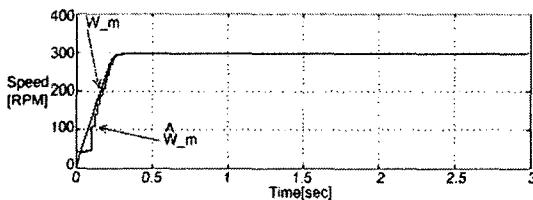


그림 7 센서리스 제어 시 속도파형(정격 부하 50%)

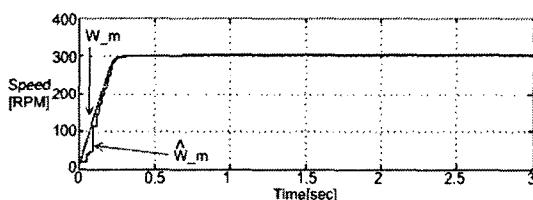


그림 8 센서리스 제어 시 속도파형(무 부하)

정상 상태 도달 후 0.5초가 되는 시점에서 센서리스 제어 알고리즘으로 전환한다. 그림 6은 100%, 그림 7은 50% 비의 정격 부하를 인가한 속도 파형이고, 그림 8은 무 부하 상황의 속도 파형이다. 그래프에 나타난 \hat{W}_m 은 추정속도 파형이며, W_m 은 추정 속도와 비교하기 위한 실제 속도 파형이다. 정격 속도가 2900[rpm]이므로 속도 정보는 약 20[ms]의 간격으로 갱신된다. 그림 6,7,8

히 이루어짐을 확인할 수 있다. 센서리스 전환 시점에서 실제 위치각을 이용한 모드의 변화와 계산된 위치각 정보를 이용한 모드의 변화를 비교한 파형은 그림 9에 나타내었다.

3. 결론

본 연구에서는 BLDCM을 센서리스 제어할 수 있는 위치 정보를 검출 할 수 있는 새로운 전압 검출 회로를 제안하였다.

MATLAB Simulation을 통하여 BLDCM의 제안된 역기전력 검출 장치가 안정적으로 동작함을 알 수 있었으며, 무부하와 정격 부하 인가 시에도 속도 추정이 올바르게 이루어 졌으며, 이 추정 속도를 이용한 센서리스 제어도 적절히 이루어짐을 알 수 있었다.

실험을 통하여 제안된 회로의 안정적인 센서리스 제어 동작을 구현하는 것이 향후 과제로 남는다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gui-Jia Su and John W. McKeever "Low Cost Sensorless Control of Brushless DC Motors with Improved Speed Range", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 19, Issue 2, pp.296-302 March 2004
- [2] Byoung-Kuk Lee, "Advanced Low Cost and High Performance Brushless DC Motor Drives for Mass Production", Submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, December, 2001
- [3] 김병복, 장재완, 장기봉, 이 주, "A Research for Novel Brushless Direct Current Motor Position Sensorless Drive Using Single Current Sensor", Proceeding of the KIEE EMECS Autumn Annual Conf. pp.141-143, 2003
- [4] 장기봉, 신현훈, 김태형, 이 주, 이상돈, 김종교, "Analysis of dynamic characteristics variation of BLDC motor according to PWM modes", Proceeding of the KIEE Summer Annual Conf. Vol.B. pp. 744-746, 2002
- [5] 설승기 "전기기기 제어론", 브레인 코리아, 2002
- [6] S. Ogasawara and H. Akagi, "An Approach to Position Sensorless Drive for BLDCM", IEEE Trans. on Ind. App. Vol 27, Issue5, pp.928-933, Sept-Oct 1991
- [7] Doo-Hee Jung and In-Joong Ha, "Low-Cost Sensorless Control of Brushless DC Motors Using a Frequency-Independent Phase Shifter", IEEE Trans. Power Electron, vol PELS-15, pp. 744-752, Jul. 2000

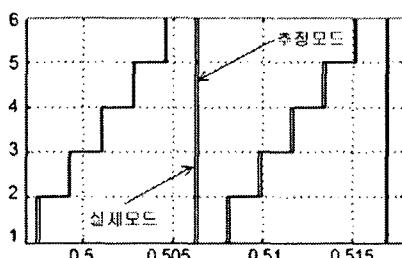


그림 9 실제 모드와 추정 모드의 비교 파형

을 통하여 다양한 부하상황에서도 센서리스 제어가 적절