

센서리스 BLDC 구동을 위한 역기전력 필터회로 설계

송두영*, 우도*, 김기선*, 김동옥*, 정태욱**, 박성준*
 전남대학교*, 생산기술연구원**

A Design of Back Emf Force Filter circuit For Driving Sensorless Brushless DC Motors

Doo-Young Song*, Yu Tao*, Ki-Sun Kim*, Dong-Ok Kim*, Tae-Uk Jung**, Sung-Jun Park*
 Chonnam National University*, Korea Institute of Industrial Technology**

ABSTRACT

본 논문에서는 BLDC센서리스를 위해 역기전력의 영점검출을 위한 새로운 필터회로를 설계하였다. 특히 본 논문에서 제안한 역기전력 증폭 제한회로를 구성함에 있어 아날로그 디지털 혼용 필터회로를 구성하여 저속영역에서 센서리스를 특성을 개선하였다. 또한 100[W]급 BLDC 구동용 프로토타입 드라이버를 제작하여 제안된 알고리즘의 타당성 검증하였다

keyword : Back Emf Filter circuit , Sensorless BLDC, absolute value filter circuit.

1. 서론

BLDC motor (Brushless DC motor)는 회전자 위치에 대한 역기전력 파형에 따라 정현과 전류 여자 BLDC 전동기와 구형과 전류여자 BLDC 전동기로 구분된다. 이러한 BLDC 전동기는 회전자 위치에 따라 전동기의 상전류를 전환해주어야 하므로 홀센서나 엔코더와 같은 회전자 위치 검출 센서가 필수적이며 이는 시스템의 가격상승, 부피 증가, 사용 환경의 제약 등의 문제점을 유발한다. 이에 따라 위치센서 없이 BLDC 전동기를 구동하는 센서리스 드라이브 개발에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다^[1]. 본 논문에서는 저항으로 각상을 Y결선하여 얻은 단자의 전압으로부터 역기전력 파형을 검출하여 회전자의 위치를 검출하였으며, 특히 저속영역에서의 원활한 ZCP(Zero crossing points)검출을 위한 역기전력 증폭 제한 회로를 제안하였으며 타당성을 검증하기 위해 프로토타입을 제작하였다.

2. BLDC 전동기의 구동원리

2.1 BLDC 전동기 구동 회로

그림1은 BLDC 전동기의 구동회로이며 일반적인 BLDC 전동기의 등가회로를 전압방정식으로 표현하면 다음 식과 같다^{[2][3]}.

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

$i_a + i_b = -i_c$ $M \cdot (i_a + i_b) = -M \cdot i_c$ 라 하면

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

발생되는 전기적 토크식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_m} \quad (3)$$

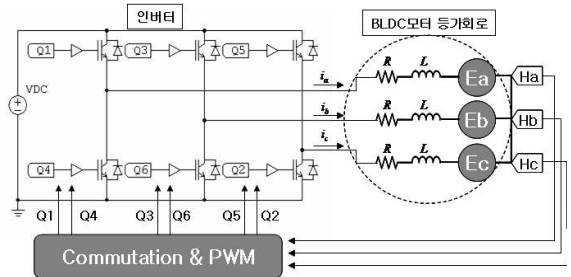


그림 1 인버터 및 BLDC 전동기의 등가회로
 Fig. 1 Equivalent circuit of inverter and BLDC motor

2.2 BLDC 전동기의 역기전력 분석

그림 2에서 보인 바와 같이 구형과 BLDC 전동기는 회전자의 위치에 따라 각 상에 구형과 형태의 역기전력이 120°위상차를 두고 발생한다. 전동기의 발생 토크는 역기전력과 전류의 곱에 비례하므로 역기전력이 평탄한 구간에서 구형과 전류를 인가하게 되면 일정한 토크를 얻을 수 있다.

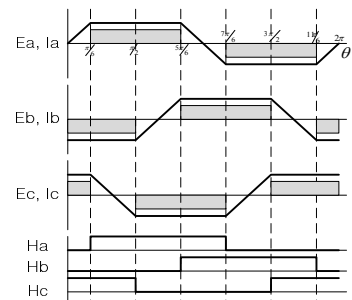


그림 2 구형과 BLDC 전동기의 역기전력과 입력전류 파형과 홀센서 신호
 Fig. 2 Back-EMF and input phase current waveform and Hall-sensor

signals of trapezoidal back-EMF BLDC motor

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\lambda}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = w \frac{d\lambda}{d\theta} \quad (4)$$

식 4에서 역기전력의 크기는 회전자의 속도에 비례한다는 것을 보여주고 있으며, 이를 통해 센서리스를 할 경우 저속영역에는 역기전력 성분이 적어 역기전력 정보를 가져오는데 어려움이 있음을 알 수 있다.

3. 센서리스를 위한 역기전력 필터 회로 제안

일반적으로 역기전력의 영점 검출을 하는 필터회로에서 문제점은 상전류 전류시 발생하는 전류전압에 의해 그 성능이 좌우 된다. 이 전류전압은 DC-Link전압으로 나타나며, DC-Link 전압이 큰 경우 그 영향이 크게 된다. 따라서 이를 해결할 수 있는 한 방법으로 DC-Link전압을 제어하여 전동기 속도제어를 할 경우 좀 더 강한 센서리스 제어가 가능하다.

본 논문에서는 저속영역에서 센서리스를 행할 시 전류전압에 의한 영향을 최소화하기 위해 클램프 회로에 의한 역기전력 증폭 제한회로를 구성함으로써 강한 센서리스 필터회로를 제한한다. 그림 3은 본 연구에서 클램프 회로에 의한 역기전력 증폭 제한회로와 기존의 필터회로를 혼용한 필터 회로이다.

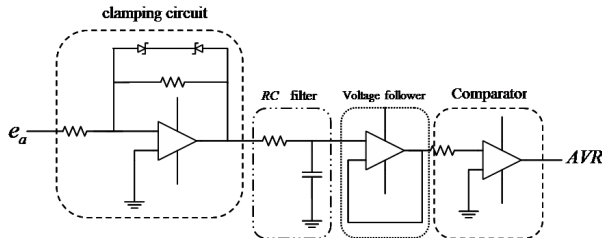


그림 3 제안된 역기전력 필터 회로
Fig. 3 Proposed Back-emf filter circuit

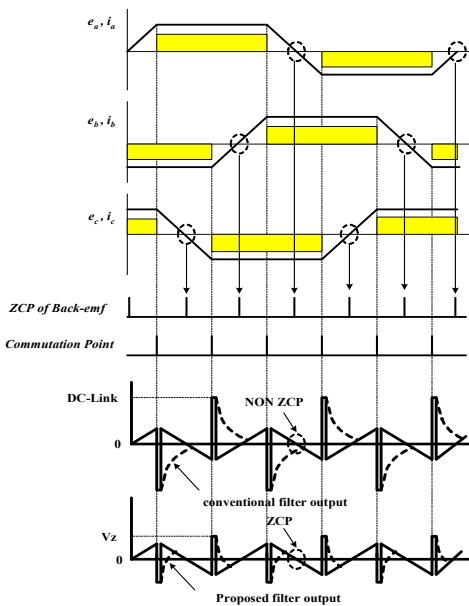


그림 4 역기전력의 ZCP와 전류 시점 비교
Fig. 4 Comparison of detection ZCP

그림 3에서 클램프 회로에 의해 전류전압의 영향을 최소화할 수 있어 저속영역에서도 강한 센서리스 필터회로이다.

그림 4는 기존의 필터회로와 제안된 회로에서 역기전력에 대한 ZCP 검출성능을 표시한 것이다. 기존의 방식에서는 전류시 DC-Link전압이 나타나, 제안된 방식에서는 클램프 회로의 제너다이오드에 설정 전압이 나타남을 알 수 있다. 이 전압은 적을수록 센서리스 특성이 우수하나, 저속영역에서 역기전력의 크기가 작아 스위칭 소자에 의한 노이즈가 신호에 포함되어 있어, 이 영향이 없는 정도로 설정하는 것이 바람직하다. 즉 클램프 회로의 전압증폭 능력에 따라 설정하여야 한다. 본 논문에서는 클램프 회로의 증폭도를 51배, 클램프 전압은 5.6[V]로 설정하여 구동하였다.

4. 실험결과

그림 5는 센서리스를 위한 BLDC전동기 구동시스템을 나타내고 있다. BLDC는 100W급으로, 동일 용량의 DC발전기를 부하로 사용하였다. 제어를 위한 마이컴은 AVR ATMEG128을 사용하였으며, 역기전력 비교입력은 INT5, INT6, INT7을 사용한 Any-change Interrupt를 사용하여 처리하였으며, 각도 계산은 16 bit Timer1을 사용하였다.



그림 5 센서리스 제어 시스템
Fig. 5 Sensorless control system

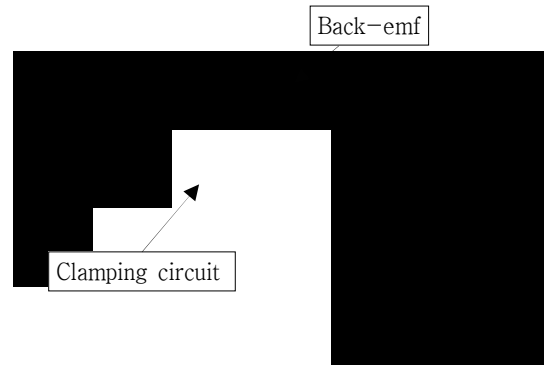
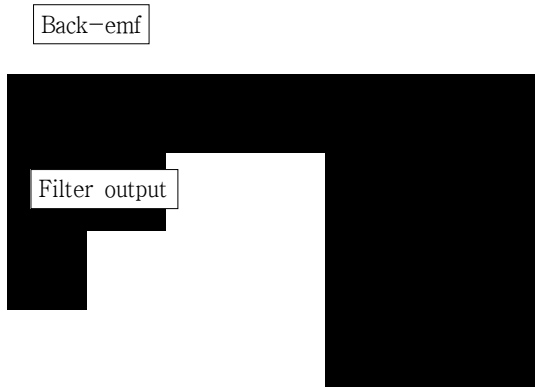


그림 6 클램프 회로의 출력 특성 파형
Fig. 6 Output characteristic waveform of clamping circuit

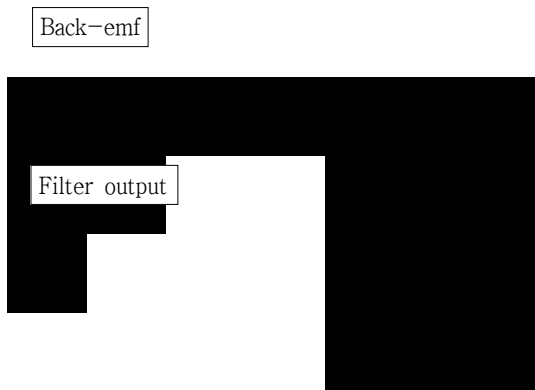
그림 6은 제안된 클램프 회로의 출력특성 파형을 나타내고

있다. 그림에서 보는 바와 같이 전류전압이 클램프 회로에 의해 제한됨을 알 수 있다.

그림 7은 기존 및 제안된 방식에서 역기전력 필터회로의 출력파형을 나타내고 있다. 그림 7(a)는 기존방식의 역기전력 필터회로의 출력파형으로서 각 상의 전류시 전류 영향의 의해 모든 ZCP에서 검출 오류가 나타나, 제안된 방식에서는 전류시의 영향이 미비하여 그 영향이 없이 양호하게 ZCP검출이 가능함을 알 수 있다.



(a) 기존 방식



(b) 제안된 방식

그림 7 기존 및 제안된 방식에서 역기전력 필터회로의 출력파형
Fig. 7 Output waveform of conventional and proposed Back-emf filter circuit

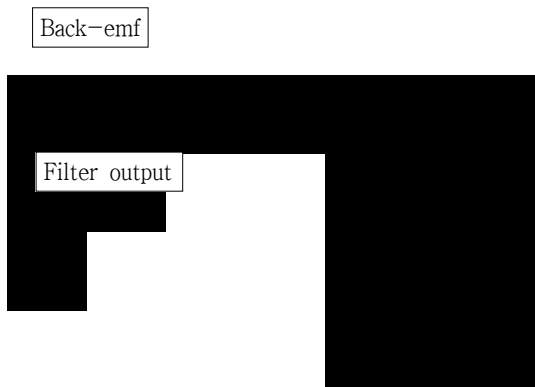


그림 8 기동 특성 분석
Fig. 8 Analysis of starting characteristic

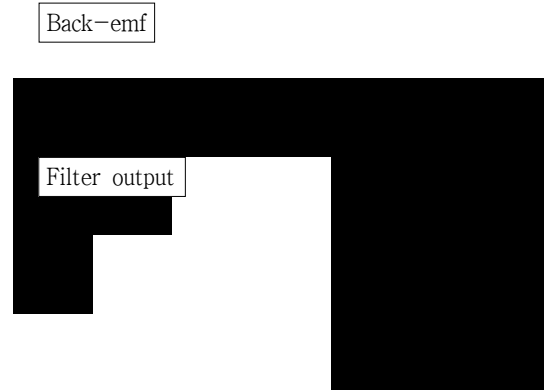


그림 9 저속 영역에서의 역기전력 파형
Fig. 9 Back-emf filter circuit in low speed

역기전력을 이용한 센서리스 제어에 있어 기동시에는 역기전력의 정보가 없어 Open-loop제어를 행하고 역기전력 정보를 얻을 수 있는 최소 속도인 기저 속도 이상에서 센서리스 제어를 행하게 된다. 그림 8은 기동 특성을 분석하기 위한 실험파형이다. 그림에서 보는 바와 같이 초기에는 Open-loop제어를 행하고 60[rpm]이상에서는 센서리스 모드로 전환이 발생하며 양호한 기동 특성이 보임을 알 수 있다. 그림 9는 저속영역에서 센서리스 특성을 보기 위한 파형이다. 본 연구에서 실험한 결과 센서리스 가능한 최소 속도는 60[rpm]으로 우수하게 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 강인한 센서리스를 위해 클램프 회로에 의한 역기전력 증폭 제한 회로를 및 기존의 필터회로를 결합한 혼용 회로의 타당성을 시험적으로 검증하였으며, 그 결과 60[rpm]이상에서 양호한 센서리스동작이 이루어짐을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. A. Rahman, "Modern Electric Motors in Electronic World", Proc. of IEEE IECON'93, pp. 644 ~ 648, 1993.
- [2] N.Matsui, "Sensorless PM Brushless DC motor drives", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol.43 No.2, pp300-308, 1996.
- [3] 설승기, 전기기기 제어론, 브레인코리아, 2002