

# 아날로그 가변필터구조에 의한 BLDC 센서리스 제어

양기연, 황정구, 위한별, 박성준  
전남대학교

## BLDC sensorless control by analog variable filter structure

Gi-Yeon Yang, Hwang-Jung Goo, Han Byul Wi, Sung-Jun Park  
Chonnam National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 회전자 위치 추정을 위한 아날로그 가변 필터 회로를 설계하고, 파라미터에 영향을 받지 않으며 고속영역에서도 부가가변에 안정적인 센서리스 제어방식을 제안한다. 이를 적용한 센서리스 구동을 PSIM을 이용한 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

BLDC 전동기(Brushless DC motor)는 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 레졸버(Resolver), 엔코더(Encoder), 홀센서(Hall Sensor)와 같은 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. 센서리스 구동 방법에는 비 여자상의 순환전류를 이용하는 방법, 고주파 전압을 주입하는 방법, 역기전력을 적분하는 방법, 단자전압 파형을 이용하는 방법 등 여러 가지가 있다[1].

본 논문에서는 회전자 위치 검출을 위해 기존에 제안된 방법인 3상의 단자 전압에 동일한 값을 가지는 저항 R을 이용하여 Y 결선으로 연결하고 중성점에 대한 각 역기전력을 측정하여 Active Filter를 거쳐 영점검출회로를 통해 ZCP(Zero Crossing Point)를 검출한다. ZCP는 PWM 생성을 위한 논리회로와 비교함으로써 3상의 Hall sensor 신호와 동일한 신호를 만들어 낼 수 있다. 이것은 기존의 센서리스 방식보다 저비용으로 넓은 속도 범위에서 안정적인 센서리스 운전이 타당성을 증명하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 BLDC 전동기의 센서리스 운전원리

단자 전압의 역기전력을 이용하는 방식은 비 여자상의 역기전력 성분을 검출하는 방식이다. 역기전력은 회전자와 고정자의 상대적 위치에 대한 함수로 사다리꼴 모양으로 나타난다. 따

라서 비 여자상에서 역기전력의 부호가 바뀌는 ZCP가 존재한다. 이 ZCP에 의해 홀센서 없이 회전자의 위치를 간접적으로 알 수 있다. 역기전력의 ZCP를 검출하기 위해서는 단자전압을 측정하여 Active Filter를 거쳐 영점검출회로를 사용하였다. 역기전력은 전기각 360°에 두 번의 ZCP를 발생하고 ZCP를 이용해 회전자의 위치를 검출할 수 있다.

#### 2.2 BLDC 전동기의 모델링

일반적인 Y 결선된 BLDC 전동기를 전압방정식으로 표현하면 다음 식과 같다.

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

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

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

발생되는 전기적 토크식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega_m}$$

여기서  $V_a, V_b, V_c$ 는 상 전압,  $R$ 은 상의 전기자 저항,  $i_a, i_b, i_c$ 는 상전류  $L_s$ 는 상의 전기자 인덕턴스,  $e_a, e_b, e_c$ 는 상의 역기전력  $\omega_m$ 은 각속도이다.

각 상의 전류와 역기전력이 같다고 가정하면 토크는

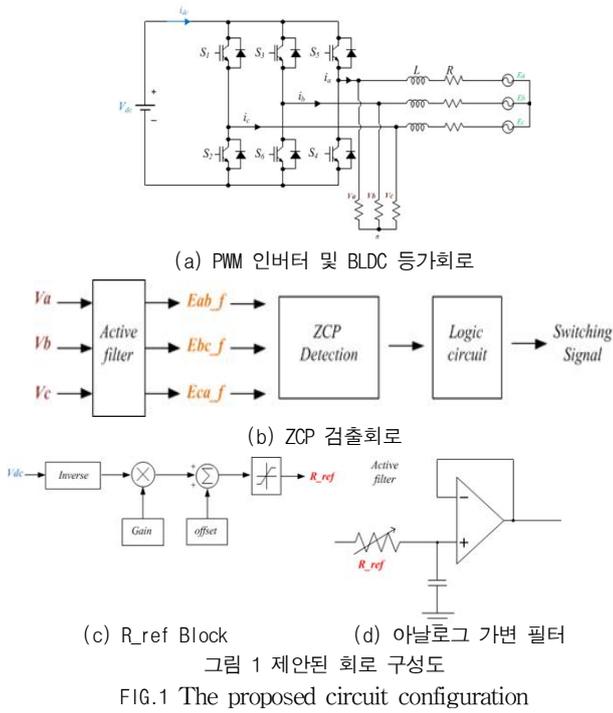
$$T_e = \frac{2EI}{\omega_m}$$

기계적 운동, 토크 방정식은 다음과 같다

$$T_e = T_L + J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m$$

여기서  $T_L$ 은 부하토크,  $J$ 는 관성 모멘트,  $B$ 는 마찰계수이다.

## 2.3 센서리스를 위한 가변 필터 회로 제안



전체 시스템의 구성은 인버터와 BLDC 등가회로부, 회전자 위치 검출부, 가변필터부로 나눌수 있다. (A)는  $V_a, V_b, V_c$  전압을 측정하기 위해서 동일한 저항값으로 Y결선하였다. (B)는 각 역기전력을 Active Filter를 사용하여 ZCP를 검출하고 ZCP를 통해 논리 회로를 거쳐 스위칭 신호를 만드는 부분이다. (C),(D)는 적용된 아날로그 가변필터 회로 구성과 필터의 가변 저항에 대한  $R_{ref}$ 를 만드는 과정을 나타내는 블록도이다.

## 3. 시뮬레이션

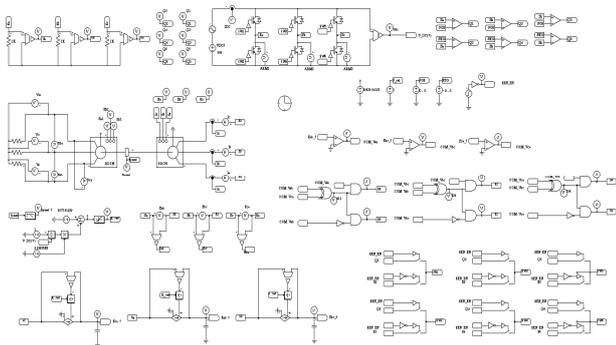


그림 3은 기존 Active Filter를 사용한 것과 제안한 아날로그 가변필터를 사용한 것의 특성을 비교하기 위한 시뮬레이션 회로도를 나타내고 있다. 전체 시스템은 일반적인 3상인버터 및 BLDC 전동기와 특성 비교를 위해 홀센서를 이용한 ZCP 검출 회로를 구성하였다.

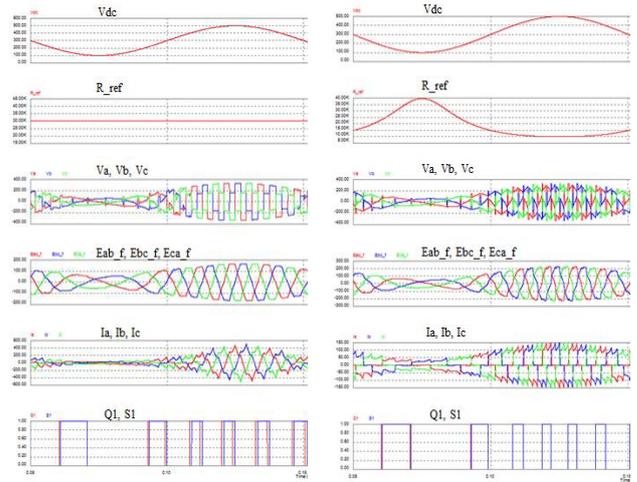


그림 3 시뮬레이션 결과파형  
FIG.3 Simulation waveforms

그림 4는 입력전압은 100V에서 10Hz의 Sin파를 Offset하여 500V까지 가변시켰고 부하는 2ohm으로 설정하였다. 총 시간은 과도상태를 제외한 50[ms]에서 150[ms]까지 시뮬레이션 한 결과파형이다. (a)와(b)를 비교해보면 (a)는 Active Filter에 고정 저항을 사용한 결과 파형이고, (b)는  $R_{ref}$ 를 적용한 가변아날로그필터를 적용한 결과파형이다. 기존 고정저항을 사용한 Active Filter의 경우에는 Q1(홀센서를 사용하여 만든 스위칭 신호) 과 S1(역기전력을 검출하여 만든 스위칭 신호)의 위상이 조금씩 지연되지만 제안된 가변아날로그필터를 적용한 회로는 Q1과 S1의 위상이 동일하게 따라가고, 각 상의 전압과 전류가 균등하게 흐르는 것을 확인하였다.

## 4. 결론

본 논문은 BLDC 전동기의 저가형 센서리스 구동을 구현하기 위한 것으로, 역기전력을 분석하여 각 상의 여자시점을 검출하는 방법을 사용하였다. 제안한 아날로그 가변필터를 적용한 기법으로 홀 센서와 동일한 신호를 검출하였고, 시뮬레이션을 통하여 입력과 부하가 가변하는 조건에서 시스템의 강인성을 확인하였다.

본 연구는 “산업통상자원부”, “한국산업기술진흥원”, “호남지역사업평가원”의 광역경제권 선도산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

## 참고 문헌

- [1] N. Ertugul and P. Acamly, "A New Algorithm for Sensorless Operation of Permanent Magnet Motors", IEEE Trans. on Ind. Application, vol 30, pp.126 133 Jan./Feb. 1994.
- [2] 김상훈, DC, AC, BLDC 모터제어, 북두출판사, 2010