

# 4-Switch Inverter를 이용한 BLDC 전동기 센서리스 제어

윤용호, 김연중, 이태원, 이병국, 원충연  
성균관대학교

## Sensorless Control of BLDC Motor Drive using 4-Switch Inverter

Yong-Ho Yoon, Yuen-Chung Kim, Tae-Won Lee, Byoung-Kuk Lee, Chung-Yuen Won  
Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

일반적으로 3상 BLDC 전동기 구동을 하기 위해서는 6-스위치 인버터와 회전속도를 제어하기 위해서는 회전속도와 회전자 위치에 대한 정보를 필요로 한다. 본 논문에서는 3상 BLDC 전동기 구동을 위한 방법으로서 4-스위치 인버터와 회전자 위치를 간접적으로 검출하는 센서리스 구동방식을 제안하였다. PM BLDC 전동기의 고정자전압 특성중 하나인 3고조파 전압 성분을 이용하여 기존의 위치 검출 센서인 Hall-ICs의 신호를 생성하여 회전자의 위치를 판별함과 동시에 속도 센서를 대신하여 사용할 수 있는 방법을 제안하였다

### 1. 서론

최근 청소기나 세탁기와 같은 소용량 전동기를 사용하는 분야에서 유지보수가 용이하며 출력 용량 대비 크기가 작은 BLDC 전동기의 사용이 점차로 증가하고 있다. 그러나 BLDC 전동기의 회전자는 영구자석으로 구성되어 있어 기존의 전동기에 비해 높은 제작비용이 들어가며 BLDC 전동기 구동 회로를 포함한 전체 시스템의 가격이 상승하게 된다.

본 논문에서는 3상 BLDC 전동기를 구동하기 위해 기존의 6-스위치 인버터 대신 4-스위치 인버터를 사용하며 또한 간접적인 회전자 위치 알고리즘을 이용한 방법으로써 전동기 구동 회로를 최소화시킬 수 있으며 간단한 회전자 위치 검출 회로를 구성하여 원가 절감을 이룰 수 있다.

### 2. 3상 BLDC 전동기 4-switch 인버터 및 sensorless 알고리즘

#### 2.1 BLDC 전동기 4-switch 인버터

기존의 6-스위치를 이용한 구동 방식과 달리 4개의 스위치를 사용하므로 그림 1과 같이 3상 중 2상에 대해 스위치가 구성되고 나머지 1상은 입력 전원측에 연결되게 된다.

따라서 6-스위치를 이용한 스위칭 패턴을 사용하게 되면 중성점에 연결된 상에 전류가 흐르게 되어 3상이 동시에 도통하는 구간이 발생하게 되고 이를 제거하기 위해서는 별도의 스위칭 방식이 필요하게 된다.<sup>[1]</sup>

이 때 적용된 각 모드별로 스위칭 패턴은 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1 4-스위치 동작을 위한 스위칭 패턴  
Table 1 Switching pattern for 4-switch operation

Mode	Active Phase	Switch On State
1	a, b	G <sub>1</sub> , G <sub>4</sub>
2	b, c	G <sub>3</sub>
3	c, a	G <sub>2</sub>

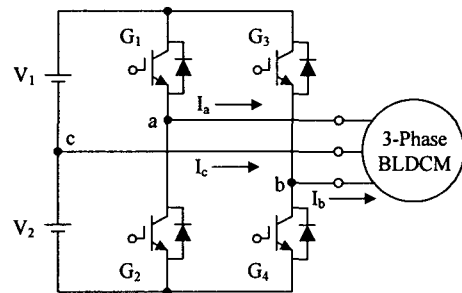


그림 1 BLDC 전동기 4-switch 인버터  
Fig. 1 BLDC motor 4-switch inverter

#### 2.2 BLDC 전동기의 sensorless 알고리즘

본 논문에서 사용한 단자전압의 3고조파를 이용한 방식은 모터 내부의 중성점과 저항 R을 Y-결선으로 연결하여 3고조파 전압 성분을 검출할 수 있고, 이 성분을 적분하여 영점과 비교하면 정류구간을 검출할 수 있다. 이 방법은 역기전력 파형과 상전류가 비교적 정확한 동기를 유지할 수 있으므로 넓은 속도 범위에서 안정적인 센서리스 운전이 가능하다.

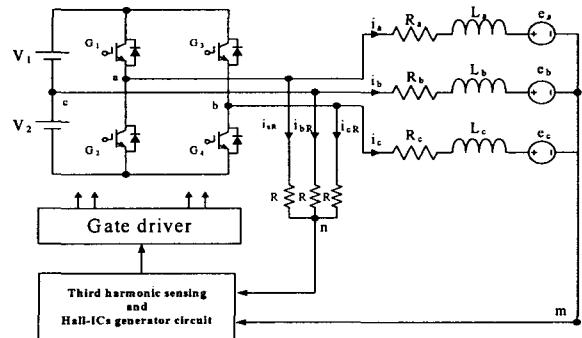


그림 1 4-switch 인버터 게이트 서그널  
Fig. 1 4-switch inverter gate signal

그림 1은 제 3고조파 전압 성분을 검출해 내기 위한 회로로써 전동기 내부의 중성점을 m, 저항 R을 Y-결선으로 연결하여 만들어진 중성점을 n이라고 하면, 두개의 중성점 간의 전압  $V_{mn}$ 이 제 3고조파 전압 성분이 된다. 단자 n의 전압  $V_n$ 의 분석을 위해서는 키르히호프의 전압방정식(KVL)을 적용하면<sup>[2]</sup>

$$\begin{aligned} V_{am} + V_{mn} + V_{an} &= 0 \\ V_{bm} + V_{mn} + V_{bn} &= 0 \\ V_{cm} + V_{mn} + V_{cn} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

위 식의 좌변과 우변을 합하여 정리하면

$$\begin{aligned} (V_{am} + V_{bm} + V_{cm}) + 3V_{mn} \\ + (V_{an} + V_{bn} + V_{cn}) &= 0 \\ (V_{an} + V_{bn} + V_{cn}) &= R(i_{aR} + i_{bR} + i_{cR}) \end{aligned} \quad (2)$$

Y-결선이므로

$$i_{aR} + i_{bR} + i_{cR} = 0 \quad (4)$$

따라서 식 (2)로부터 다음의 식을 얻어낼 수 있다.<sup>[2]</sup>

$$V_{mn} = -1/3(V_{am} + V_{bm} + V_{cm}) \quad (5)$$

결과적으로 BLDC전동기 단자 전압의 3고조파 전압성분을 이용하여 회전자의 위치를 알 수가 있으며, 단자전압으로부터 검출된 3고조파 전압을 적분하여 90도 지연된 파형을 얻어내고, 이를 영 전압 검출 회로(Zero crossing detection circuit)를 거치면 최종적으로 전환 신호(Commutation signal)를 만들어 낼 수 있다.

### 3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 알고리즘을 PSIM 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션과정을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

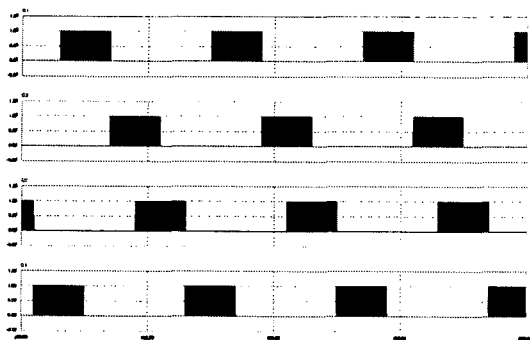


그림 1 4-switch 인버터 게이트 시그널  
Fig. 1 4-switch inverter gate signal

기존의 6-스위치를 이용한 스위칭 패턴을 사용하게 되면 중성점에 연결된 상에 전류가 흐르게 되어 3상이 동시에 도통하

는 구간이 발생하게 되고 이를 제거하기 위해서는 별도의 스위칭 방식이 필요하다. 따라서 그림 1은 3상 BLDC전동기를 구동하기 위해 일반적으로 사용되는 6-스위치 인버터를 사용하는 대신 4-스위치 인버터에서의 각 스위치 게이트 신호를 보여주고 있다.

그림 2와 3은 BLDC 모터 단자전압을 이용하여 최종적으로 각상의 홀센서 신호를 추정하기 위한 과정으로써 제 3고조파 전압 성분과 이 전압의 적분파형, 그리고 이를 영점 검출회로를 거쳐 생성된 전환신호, 각상의 전류 파형으로써 고정자의 3고조파 전압성분을 이용하여 전환신호를 생성하는 과정을 보여주고 있다. Op-Amp를 이용한 적분회로를 통해 위상이 90° 지연된 고정자의 3고조파 성분을 영점 검출회로를 통해서 전환신호를 만들 수 있다. 그리고 이 전환신호를 이용하여 PM BLDC 전동기의 정류되는 시점을 찾을 수 있다.

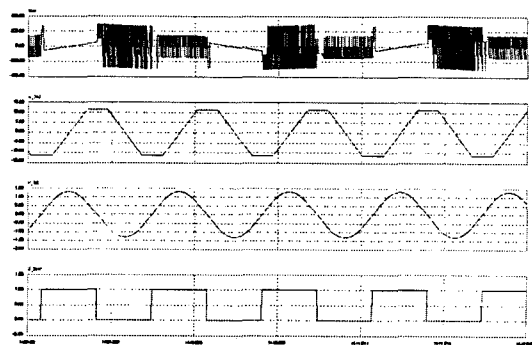


그림 2 4-switch 인버터 게이트 시그널  
Fig. 2 4-switch inverter gate signal

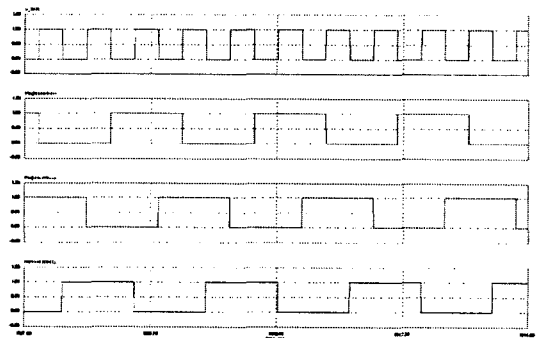


그림 3 BLDC 전동기 단자전압의 3고조파와 추종된 홀센서 신호  
Fig. 3 3th harmonic voltage of BLDC motor and estimated Hall-sensor signal

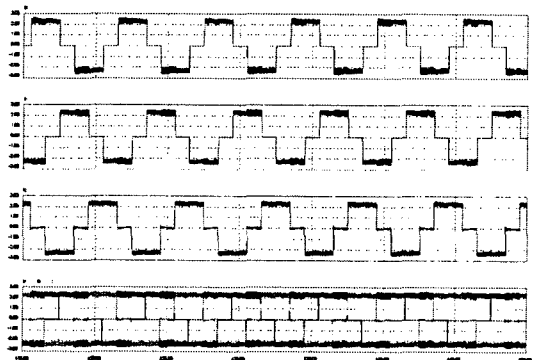


그림 4 A, B, C 상전류 (1A/div., 10000rpm)  
Fig. 4 Each phase current

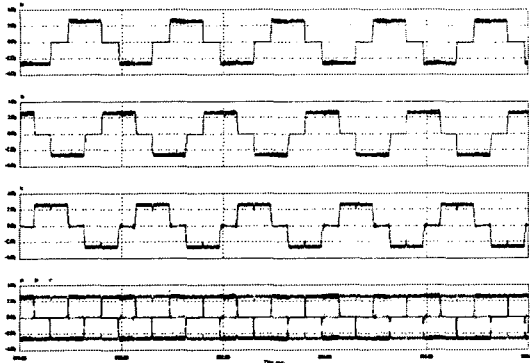


그림 5 A, B, C 상전류 (1A/div., 30000rpm)  
Fig. 5 Each phase current

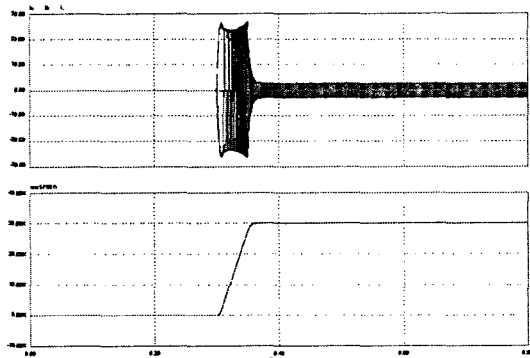


그림 6 상전류와 실제 속도 (1A/div., 30000rpm)  
Fig. 6 phase current and real speed

그림 4와 5는 4-스위치와 센서리스 알고리즘에 의한 각상의 상전류와 BLDC 전동기 속도 파형으로써 각각 10000rpm과 30000rpm일 때를 나타내고 있다. 이때 각상의 전류파형은 기존의 6-스위치를 사용했을 때와 동일하며 전동기 속도는 기준속도를 매우 잘 추종하는 성능을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 BLDC 전동기의 구동 시스템을 개발함에 있어 6-스위치 인버터대신 4-스위치 인버터와 3고조파 신호를 이용하여 회전자 위치를 판별함과 동시에 속도제어가 가능한 구동 시스템을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존에 사용했던 6-스위치 인버터에서 2개 스위치를 사용하지 않는 방식의 4-스위치 인버터를 사용함으로써 동일한 성능을 얻으면서 전체 구동 시스템의 원가를 절감하는 효과를 얻을 수 있다.
2. 기존에 속도 제어를 위해 필요했던 Hall-ICs를 대신하여 센서의 장착이 어려운 분야 및 온도나 습도의 제한이 따르는 곳에 적용할 수 있다.

이 논문은 에너지관리공단 (2005-EL02-P-01-0-000-2005)의 에너지 자원기술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

- [1] Byoung-Kuk Lee, Tae-Hyung Kim, and Mehrdad Ehsani, "On the Feasibility of Four-Switch Three-Phase BLDC Motor Drives for Low Cost Commercial Application: Topology and Control", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 18, No. 1, pp.164-172, 2003, January.
- [2] Moreira, J. C. "Indirect sensing for rotor flux position of permanent magnet AC motors operating over a wide speed range", *IEEE Trans. Ind. Application*, Vol. 32, pp. 1394-1401, 1996.
- [3] 윤용호, 김연충, 원충연, "3고조파를 이용한 PM BLDC 전동기 구동을 위한 센서리스 제어," *전력전자학회지*, Vol. 10, pp. 323-230, 2005.
- [4] Hung-Chi Chen, Chang-Ming Liaw, "Current-mode control for sensorless BDCM drive with intelligent commutation tuning", *IEEE Trans. Ind. Application*, Vol. 17, pp. 747-756, 2002.