

새로운 BLDC 전동기 센서리스 드라이브 시스템

김연충, 윤용호, 이태원, 이병국, 원충연
 성균관대학교 정보통신공학부

New Sensorless Drive System for BLDC Motor

Yuen-Chung Kim, Yong-Ho Yoon, 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 방법으로 4-스위치 인버터와 회전자 위치를 간접적으로 검출하는 센서리스 구동방식을 제안하였다. 또한 4-스위치 구동에 대한 문제점을 개선하기 위하여 Voltage Doubler를 이용함으로써 기존 방법에 비해 전체 구동 시스템의 비용과 크기를 줄이는 효과를 얻을 수 있고 BLDC 전동기 성능을 향상시킬 수 있다.

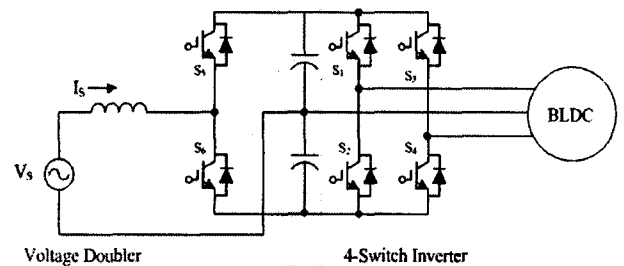


그림 1 주 전력 회로
 Fig. 1 Main power circuit

1. 서 론

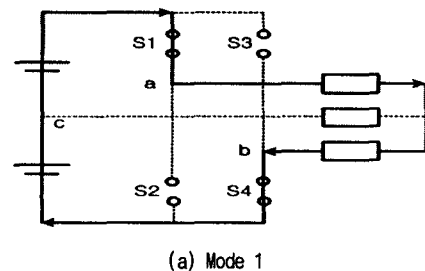
최근 청소기나 세탁기와 같은 소용량 전동기를 사용하는 분야에서 유지보수가 용이하며 출력 용량 대비 크기가 작은 BLDC 전동기의 사용이 점차로 증가하고 있다. 그러나 BLDC 전동기의 회전자는 영구자석으로 구성되어 있어 기존의 전동기에 비해 높은 제작비용이 들어가며 BLDC 전동기 구동 회로를 포함한 전체 시스템의 가격이 상승하게 된다.

본 논문에서는 전체 시스템의 가격의 상승을 BLDC 전동기 구동 회로의 최소화하며 간단한 회전자 위치 검출 회로를 구성하여 원가 절감을 이룰 수 있는 방법을 제안하였다.^[1] 또한 6개의 스위치가 1개의 모듈로 구성되어 있는 소자를 사용할 경우 본 논문에서 제시한 4-스위치 구동 방식에 사용되고 남은 2개의 스위치를 역률 제어 및 4-스위치 구동 방식의 단점을 극복하기 위한 방법을 제안하였으며 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.^{[2]-[4]}

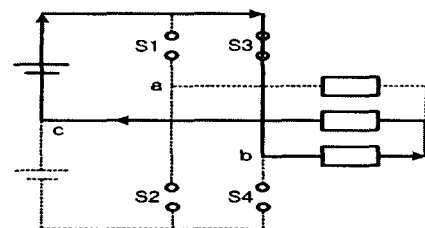
2. 4-스위치를 이용한 센서리스 구동

2.1 4-스위치 동작 원리

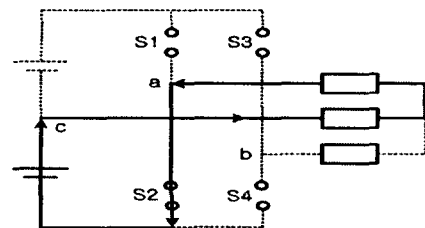
기존의 6-스위치를 이용한 구동 방식과 달리 4개의 스위치를 사용하므로 그림 1과 같이 3상 중 2상에 대해 스위치가 구성되고 나머지 1상은 입력 전원측 커패시터의 중성점에 연결되게 된다. 따라서 6-스위치를 이용한 스위칭 패턴을 사용하게 되면 중성점에 연결된 상에 전류가 흐르게 되어 3상이 동시에 도통하는 구간이 발생하게 되고 이를 제거하기 위해서는 별도의 스위칭 방식이 필요하게 된다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2



(c) Mode 3

그림 2 동작 모드
 Fig. 2 Operating mode

이 때 적용된 스위칭 패턴은 표 1과 같으며 이 때 동작 모드는 그림 2와 같다.

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	S ₁ , S ₄
2	B, C	S ₃
3	C, A	S ₂

1.2 회전자 위치 추정

단자전압의 역기전력을 이용하는 방식은 비여자상의 역기전력 성분을 검출하는 것으로 3상의 비여자 구간을 검출하기 위하여 저역통과필터와, 스위칭에 의한 고주파를 제거하기 위하여 고역통과필터를 사용하여 주기적인 삼각파를 얻을 수 있다. 이 방법은 검출회로의 구성이 비교적 간단하고, 아날로그회로 구성으로 제어기의 부담을 줄여 실시간 검출과 제어에 효율적인 장점을 가지고 있으나, 저속과 차단주파수 이상의 고속에서 검출 파형의 신뢰성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 그리고 한 번의 잡음(noise)신호에 의해 검출신호가 잘못 입력되는 경우 센서리스 운전이 실패할 수 있다는 문제점을 가지고 있다.

반면에 본 논문에서 사용한 단자전압의 3고조파를 이용한 방식은 전동기 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. 하지만, 저속 영역에서 단자전압의 크기가 매우 작아 3고조파를 검출하기가 어려우며, 전동기 내부 중성점을 이용해야하는 단점이 있다.

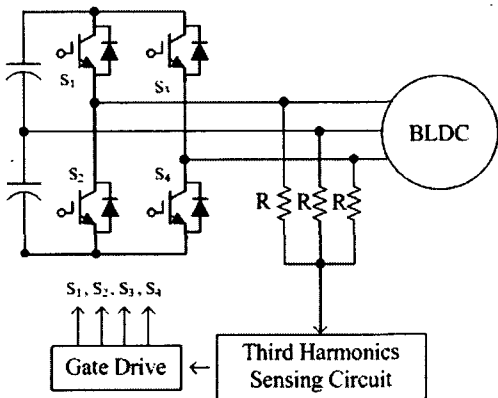


그림 3 회전자 위치 추정 회로
Fig. 3 Estimation circuit of rotor position

1.3 Voltage doubler 동작 원리

그림 2의 동작 모드 분석을 살펴보면 모드 2와 3의 경우 전동기에 가해지는 전압은 모드 1에 비해 1/2배 줄어든다. BLDC 전동기의 속도는 인가되는 전압의 크기에 비례하므로 결국 전동기의 정격속도의 1/2이상의 속도를 낼 수 없다. 따라서 인가되는 전압을 높여주어야 전동기의 정격속도까지 낼 수 있으나 기존의 6-스위치를 사용한 조건과 동일한 상태에서 비교해야하므로 전동기에 인가되는 전압을 높이기 위해 voltage

doubler를 적용하였다. 6개의 스위치가 1개의 모듈로 구성되는 소자를 사용할 경우 4-스위치 구동을 위해 사용하고 남은 2개의 스위치를 이용하여 그림 1과 같이 구성하면 전동기의 정격 속도까지 운전할 수 있다. 그러나 이와 같은 구성에서 모드 2와 3의 경우는 정격 전압까지 인가되나 모드 1의 경우에는 정격 전압의 2배까지 인가되는 현상이 발생하게 된다.

3. 시뮬레이션

그림 4는 본 논문에서 구성한 4-스위치를 이용한 센서리스 BLDC 전동기 구동 시스템이고 표 2는 시뮬레이션에 사용한 시스템 사양을 정리하였다.

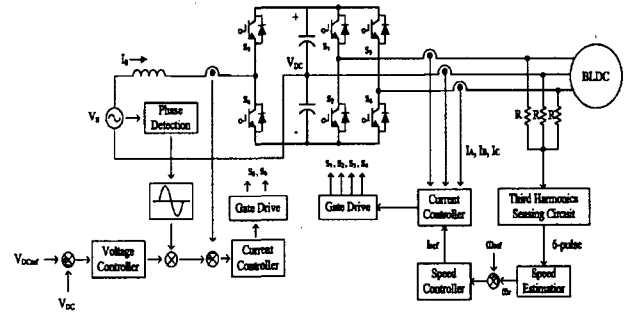


그림 4 BLDC 전동기 구동 시스템
Fig. 4 BLDC Motor driver system

표 2 BLDC 전동기 구동 시스템 사양
Table 2 Specification of BLDC Motor's driver

입력 전압	90V _{dc} ~ 340V _{dc}
정격 입력 전력	1kW
정격 출력 전력	0.9kW
정격 속도	33000[rpm]
정격 전류	3.6A at 280V _{dc}
극 수	2

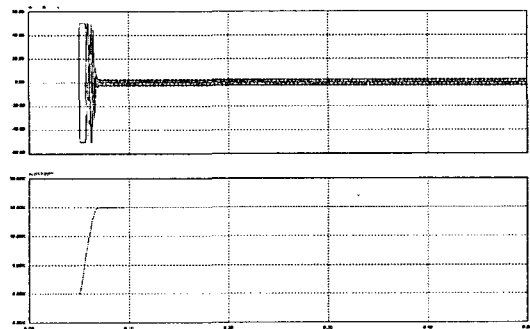


그림 5 입력 전압(150V_{dc})에 따른 상전압과 속도 파형

Fig. 5 Phase current and speed waveform at 150V_{dc} input voltage

그림 5과 6은 입력 전압이 150V_{dc}일 경우 전동기에 흐르는 상전류와 속도와의 관계를 나타낸 파형이다. 전동기 사양에 정격 속도는 30000rpm이나 입력 전압이 150V_{dc}가 공급되어 전동기가 출력할 수 있는 최고 속도는 15000rpm이 됨을 보여주고

있다.

그림 7과 8은 입력 전압을 정격전압인 280V_{dc}를 인가한 경우 전동기에 흐르는 상전류와 속도와의 관계를 나타내고 있다. 전동기 정격 속도에서 동작하고 있음을 알 수 있다.

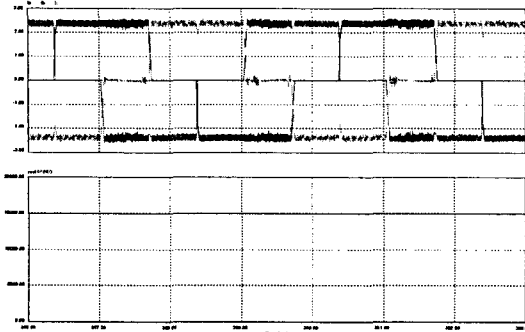


그림 6 입력 전압(150V_{dc})에 따른 상전압과 속도 파형 (그림 5의 확대)
Fig. 6 Phase current and speed waveform at 150V_{dc} input voltage

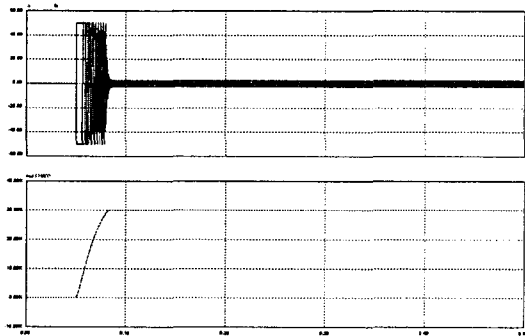


그림 7 입력 전압(280V_{dc})에 따른 상전압과 속도 파형
Fig. 7 Phase current and speed waveform at 280V_{dc} input voltage

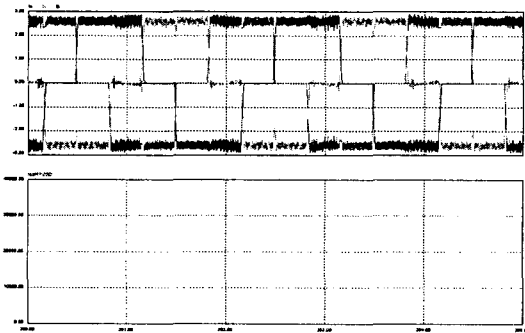


그림 8 입력 전압(280V_{dc})에 따른 상전압과 속도 파형 (그림 7의 확대)
Fig. 8 Phase current and speed waveform at 280V_{dc} input voltage

그림 9는 전동기에 인가되는 입력 전압을 높이면서 입력 전원의 역률을 향상시키기 위한 voltage doubler를 적용한 회로의 입력 전원 위상 파형이다. 역률이 향상됨을 알 수 있다.

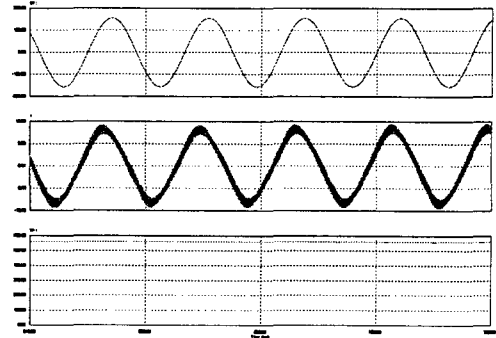


그림 9 교류 입력 전원의 위상
Fig. 9 Phase of AC input power

4. 결론

최근 가전용 기기에 많이 적용되고 있는 BLDC 전동기 구동 회로에 소모되는 비용을 절감하여 전동기 제작의 비용 상승으로 인한 전체 시스템의 경비 상승을 줄이기 위한 방법을 제안하였다.

주 전력회로는 스위치의 수를 줄이기 위해 4-스위치를 적용한 구동 방식을 사용하였으며 회전자의 위치 검출방식으로는 단자 전압을 이용한 측정방식을 적용하여 비용을 절감하는 방식을 제안하였다. 또한 6개의 스위치가 1개의 모듈을 구성하는 소자를 사용할 경우 교류 입력 전원의 역률을 향상시키며 4-스위치를 사용한 구동 회로에서 발생하는 전동기의 속도 제한 문제를 해결하는 방법에 대해 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 타당성을 확인하였다.

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

참고 문헌

- [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] J. R. Hendershot and T. J. E. Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motors, Oxford, UK: Oxford Science, 1994.
- [3] 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.
- [4] "Line input ac to dc conversion and input filter capacitor selection", unitrode power supply seminar, 1983.