

브러시리스 직류전동기의 3고조파 전압성분을 이용한 센서리스 제어기법

박상훈, 윤용호, 이승준, 원충연, 김영렬*
 성균관대학교, 안양대학교*

Sensorless Control Technique using Third Harmonics Voltage Component of PM Brushless DC Motor

Sang-Hoon Park, Yong-Ho Yoon, Seung-Jun Lee, Chung-Yuen Won, Young-Real Kim*
 Sungkyunkwan Univ, Anyang Univ.*

ABSTRACT

This paper studies particularly applicable method for sensorless Permanent Magnet Brushless DC (PM BLDC) Motor drive system. The waveform of the motor internal voltages (or back emf) contains a fundamental and higher order frequency harmonics. Therefore the third harmonic component is extracted from the stator phase voltage. The resulting third harmonic signal keeps a constant phase relationship with the rotor flux for any motor speed and load condition. In addition, a simple starting method and a speed estimation approach are also proposed.

1. 서론

PM BLDC 전동기의 고정자전압 특성중 하나인 3고조파 전압성분을 이용하여 기존의 위치 검출 센서인 Hall-ICs의 신호를 생성하여 회전자의 위치를 판별함과 동시에 속도 센서를 대신하여 사용할 수 있는 방법을 제안하였다.

이와 같은 방법으로 만들어낸 전환 신호를 이용하여 PM BLDC 전동기를 센서리스로 운전하는 방식은, 하드웨어적으로 전류의 전환 시점이 결정되므로 역기전력 파형과 상전류가 비교적 정확한 동기를 유지할 수 있으므로 넓은 속도 범위에서 안정적인 센서리스 운전이 가능하다.^[1] 또한 아날로그 증폭회로를 이용하여 정격 30000rpm인 전동기의 저속에서도 충분한 3고조파성분을 검출할 수 있다.

2. PM BLDC 전동기의 센서리스 운전

2.1 제 3고조파 전압성분 검출 방법

본 논문에서는 단자전압의 제 3고조파 전압성분을 이용하여 PM BLDC 전동기의 회전자 위치를 간접 검출하는 방법을 제안하였다.

그림 1과 같이 제 3고조파 전압성분을 검출하기 위해서 3상의 단자전압을 이용하였으며, 동일한 저항값의 저항 ($R_{network}$)을 이용한 중성점 n과 모터 내부의 중성점 m을 이용한 중성점간 전압 V_{nm} 이 제 3고조파 전압 성분이 된다.^[2]

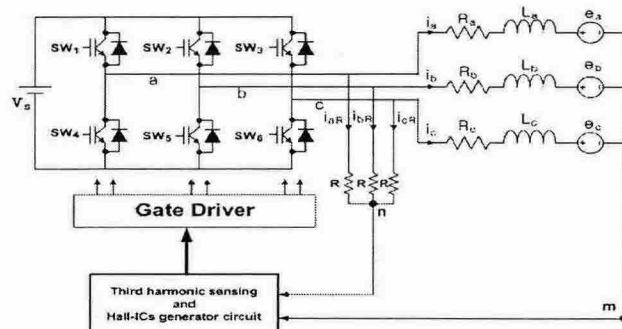


그림 1 제 3고조파 검출 회로
 Fig. 1 Third Harmonic sensing circuit

그림 2는 제 3고조파 전압성분을 이용한 전환신호의 생성원리를 설명하고 있다. 검출회로를 통한 전압성분을 적분회로를 통해 90° 지연된 파형을 얻어내고, 이를 영 전압 검출회로를 거쳐 전환신호를 만들어 낼 수 있다.

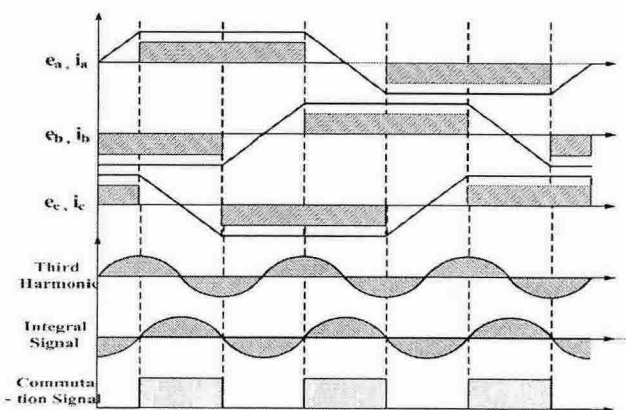


그림 2 제 3고조파를 이용한 전환신호의 생성
 Fig. 2 Commutation Signal using Third Harmonic Signals

2.2 제안한 Hall-ICs 신호발생 알고리즘

그림 3은 제 3고조파 전압성분을 입력으로 하는 각 상의 Hall-ICs 신호를 생성하는 EPLD 내부블록을 나타내고 있다.

그림4와 같이 존슨카운터와 추가적인 논리회로의 조합으로 생성된 Hall-ICs 생성신호는 전동기에 부착된 Hall-ICs 신호와 동일한 주기와 주파수를 가지고 발생한다.

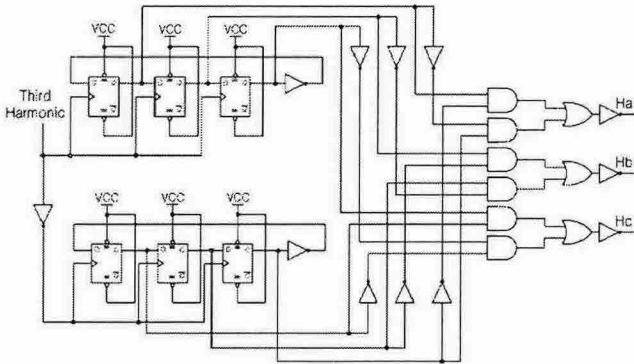


그림 3. 존슨카운터를 이용한 Hall-ICs 생성블록도
Fig. 3 Hall-ICs creation block using Johnson Counter

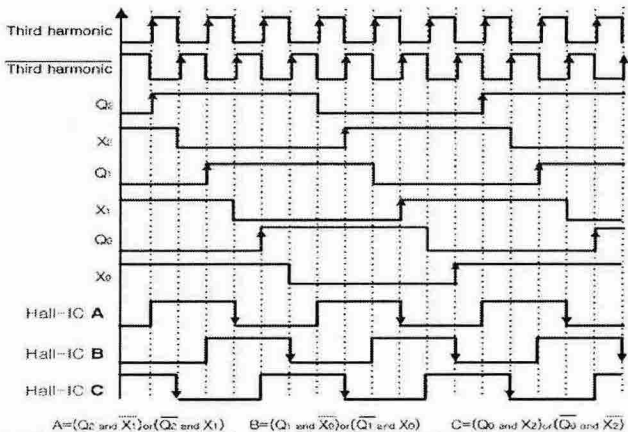


그림 4 EPLD를 이용한 홀센서 신호발생 알고리즘
Fig. 4 Hall-ICs Signal creation Algorithm using The EPLD

2.3 제안한 PM BLDC 전동기의 초기구동 방법

초기 구동은 그림5와 같이 3개의 동작모드로 구성되어 있다.

mode 1은 초기 정렬 모드로 두상을 강제로 여자시켜 회전자가 어떤 위치에 있던 지정한 상으로 정렬하도록 하는 강제정렬의 모드이다.

mode 2는 동기가속모드로 강제정렬이 정상적으로 수행된 경우 회전자는 지정된 상에 정렬되어 있으며 제어기는 다음 상을 순차적으로 여자시켜 줌으로써 운전을 시작하게 된다. 제안한 센서리스운전에서 일정 속도에 도달하기 전까지는 간접 검출한 신호로 센서리스 운전을 하는 것이 불가능하기 때문에 신뢰성 있는 회전자 위치정보신호를 검출할 수 있는 영역까지 가속을 하는 모드이다.

mode 3은 검출된 3고조파에 의해 구해진 전환신호에 의해 생성된 Hall-ICs신호를 이용하여 PM BLDC 전동기를

구동하는 모드이다.

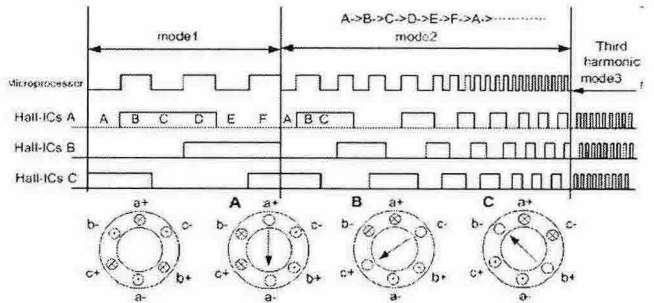


그림 5 PM BLDC 전동기의 초기 구동 알고리즘
Fig. 5 Proposed starting procedure of PM BLDC Motor

3. 실험 결과

그림 6은 3고조파를 검출하여 EPLD 로직을 통해 Hall-IC 신호와 동일한 신호를 만듦으로써 PM BLDC 전동기의 제어 시스템의 전체 블록도를 나타내고 있다. 본 시스템은 PM BLDC 전동기, 인버터, 게이트 드라이버, EPLD 그리고 PI 제어 부분으로 구성되어 있다.^[3]

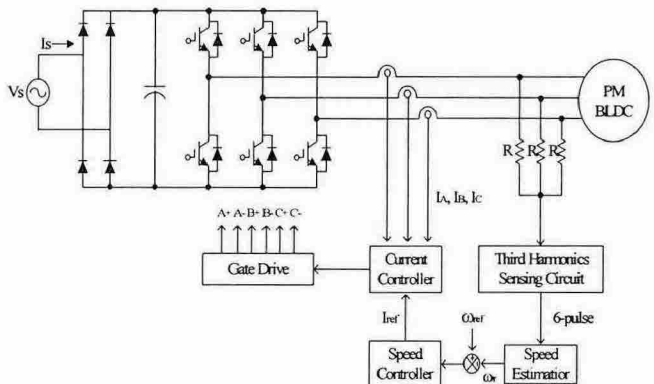


그림 6 PM BLDC 전동기의 전체 구동 시스템
Fig. 6 PM BLDC Motor Drive System

그림 7은 제 3고조파 전압성분을 이용하여 적분회로를 통한 적분파형, 영점 검출회로를 거쳐 생성된 전환신호를 나타내고 있으며 그림 8은 제 3고조파 신호를 이용하여 3상의 Hall-ICs 신호를 추정한 실험결과이다.

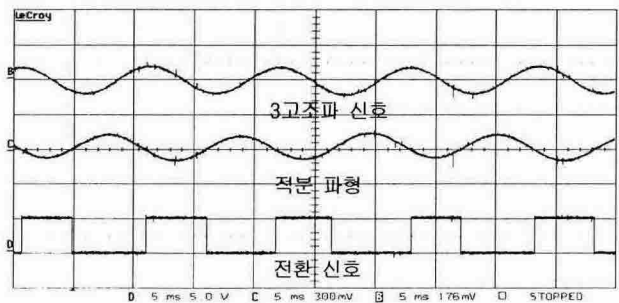


그림 7 제 3고조파 전압성분을 이용한 전환신호 생성
Fig. 7 Commutation Signal creation using Third harmonic

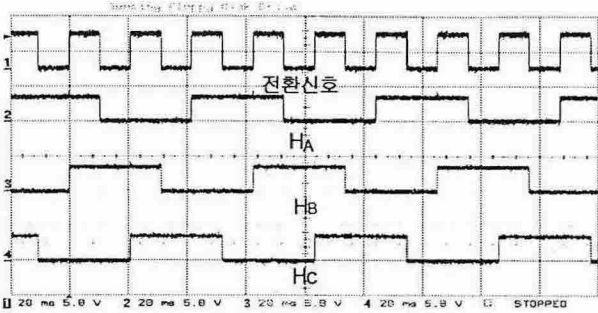


그림 8 전환신호를 이용한 각 상의 Hall-IC 신호
Fig. 8 Each phase Hall-IC signal using commutation signal

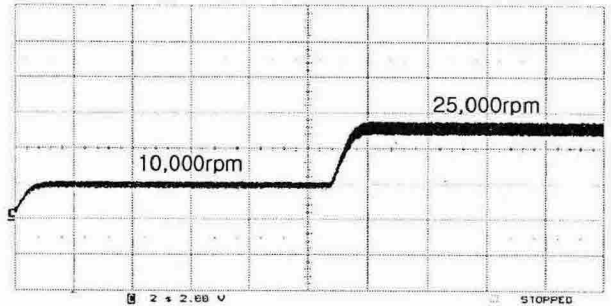


그림 11 측정된 속도 파형(10000, 25000rpm)
Fig. 11 Speed response of reference speed change

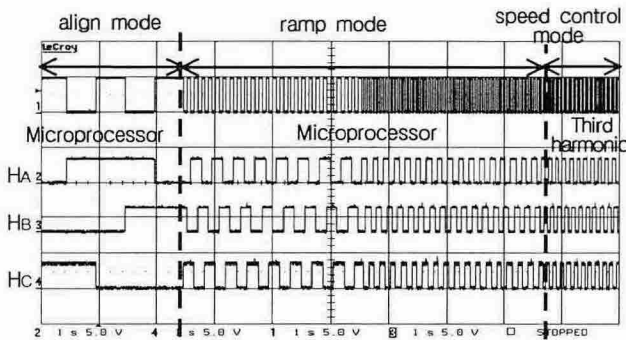


그림 9 초기구동 동작모드
Fig. 9 Start up operation mode

그림 8은 3 고조파 신호를 이용하여 3상의 Hall-ICs 신호를 추정한 실험결과이다. Hall-ICs 신호는 존슨카운터(Johnson counter)를 병렬로 연결하여 각 상에 맞는 Hall-ICs신호의 값을 논리도에 의한 조합으로 생성된 신호이다.

그림 9는 PM BLDC 전동기의 초기구동신호를 나타내고 있다. 초기구동은 마이크로프로세서를 이용하여 두상을 강제로 여자시켜 회전자 위치가 어떤 위치에 있던 지정한 상으로 정렬하도록 하는 강제정렬 모드(align mode), 회전자 위치정보신호를 검출할 수 있는 영역까지 가속하여 운전을 시작하는 동기 가속모드(ramp mode)로 구성되어 있다. 그리고 강제정렬과 동기 가속모드에 의해 일정속도 후 존슨 카운터를 이용하여 얻어진 전환신호에 의해 생성된 Hall-ICs신호를 이용하여 PM BLDC 전동기를 구동하는 모드(speed control mode)로 구성되어 있다.

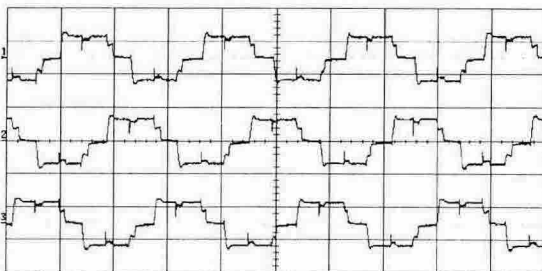


그림 10 각 상전류 (25000rpm, 2A/div, 1ms/div)
Fig. 10 Each phase current

그림 10은 본 논문에서 3고조파를 이용한 PM BLDC 전동기를 25000rpm의 센서리스 운전 시 각상의 전류파형을 나타내며 그림 11은 센서리스 운전 시 기준속도 변화에 따른 응답속도로서 1회전 시 발생하는 6개의 펄스를 이용하여 60° 마다 회전자 위치를 검출하기 때문에 속도제어를 하는데 있어서 속도응답에 대한 속도리플이 크게 나타난다.

4. 결론

본 논문에서는 제 3고조파 신호를 이용하여 회전자 위치를 판별함과 동시에 속도제어가 가능한 구동 시스템을 개발하였다. 기존에 속도 제어를 위해 필요했던 Hall-ICs 역할을 대신하여 전체적인 구동 회로의 가격을 낮출 수 있는 장점이 있다. 하드웨어적으로 전류의 전환 시점이 결정되므로 프로세서의 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 넓은 속도 범위에서 안정적인 센서리스 운전이 가능함을 알 수 있었다.

이 논문은 중소기업청, 경기도청(2004-0227-500)의 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Young-Ho Yoon, Deok-Kyu Kim, Tae-Won Lee, You-Young Choi, Chung-Yuen Won, "A Low Cost Speed Control System of PM Brushless DC Motor Using 2 Hall-ICs", ICMIT, pp.150-155, 2003.