

2 Hall-ICs를 이용한 저가형 PM Brushless DC Motor 속도 제어

김덕규, 윤용호, 우무선, 원충연, 최유영*
 성균관대학교, (주)키네모션*

A Low Cost Speed Control System of PM Brushless DC Motor Using 2 Hall-ICs

D.K. Kim, Y.H. Yon, M.S. Woo, C.Y. Won, and Y.Y. Choe*
 Sung Kyun Kwan University, Kinemotion Ltd*

ABSTRACT

Generally, PM BLDC drive system is necessary that the three Hall-ICs evenly be distributed around the stator circumference and encoder be installed in case of the 3 phase motor. So, the Hall-ICs are set up in this motor to detect the main flux from the rotor, and the output signal from Hall-ICs is used to drive a power transistor to control the winding current. However, instead of using three Hall-ICs and encoder, we used only two Hall-ICs for the permanent magnet rotor position and for the speed feedback signals, and also for a micro controller of 16-bit type (80C196KC) with the 3 phase PM BLDC whose six stator and two rotor designed. Two Hall-IC H_a and H_b are placed on the endplate at 120 degree intervals, and with these elements, we estimated information of the others phase in sequence through a rotating rotor.

1. 서 론

최근 각종 산업기기 및 자동화기기에는 회전자가 영구자석으로 구성된 브러시리스 서보 전동기의 사용이 증가하고 있다. 이 중에서 역기전력 파형이 사다리꼴로 나타나며, 구형과의 상전류를 순차적으로 인가해주면 일정 크를 발생시킬 수 있는 브러시리스 직류전동기 (PM Brushless DC Motor ; 이하 PM BLDC 전동기)에 대하여 연구하고자 한다. 이러한 전동기는 직류전동기의 계자와 전기자를 제거하여, 무 브러시로 인한 견고성, 저소음, 무보수성, 긴 수명 및 회전자 손실이 없고 제어가 간단하

고 운전영역이 매우 넓다는 장점을 가지고 있다.^[1] 그러나 PM BLDC 전동기 구동 회로의 경우 회전자의 위치를 검출하기 위해 자기 센서 혹은 광센서를 사용하며, 속도를 검출하기 위해 레졸버와 엔코더 등의 속도 센서가 필요하다. 이는 전동기 구동 회로의 제조 단가 상승, 부피 증가 등의 원인으로 작용한다. 본 논문에서는 PM BLDC 전동기의 속도제어를 위해 위치 검출 센서인 Hall-ICs를 이용하여 회전자의 위치를 판별함과 동시에 속도 센서를 대신하여 사용할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 기존의 시스템의 경우 Hall-ICs를 3개 이용하지만 본 연구에서는 2개를 사용해서 PM BLDC 전동기 및 구동 회로의 제조 단가를 낮추고 크기를 줄일 수 있는 효과를 얻었다.

2. 본 론

2.1 PM BLDC 모터 제어

그림1은 PM BLDC 전동기의 전체 속도 제어 블록도를 나타내고 있다. Hall-ICs로부터 회전자 위치 정보와 속도 정보를 추정하여 속도 제어기의 실제 속도(ω_{fb}) 입력이 되고, 속도 제어기는 전류 지령값(I_{ref})을 실제 측정된 전류(I_{fb})와 비교하여 전류제어를 수행하게 된다. 속도 제어기는 PI 제어, 전류 제어기는 히스테리시스 전류제어를 하였다.

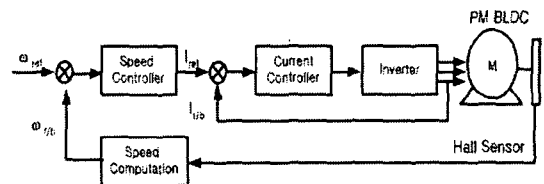


그림 1 PM BLDC 전동기의 폐루프 제어 블록도
 Fig. 1 Closed-Loop Control for PM BLDC Motor

그림2는 실제 히스테리시스 전류 제어에 사용된 회로를 나타내고 있다.

전류 센서(CT : Current Transducer)로부터 얻어진 실제 전류(I_{fb})와 80C196KC에서 계산된 제어량(I_{ref})사이의 오차가 OP-amp 반전단자의 입력으로 가해지며, OP-amp의 출력은 저항으로 분압 되어져 비반전 단자의 입력으로 들어가 히스테리시스 밴드를 형성하게 된다.

이렇게 실제 전류, 제어량 사이의 오차값과 밴드내의 기준값과의 비교를 통해 밴드내에서 일정한 전류가 유지되도록 게이트 신호가 온-오프를 반복하도록 구성되어 있다.^[2]

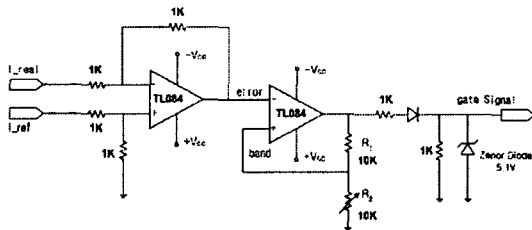


그림 2 히스테리시스 전류 제어
Fig. 2 Hysteresis Current Controller

2.2 제안된 Hall-IC 신호 추정 알고리즘 구현

그림 3은 두 상의 Hall-ICs 신호를 가지고 나머지 한 상의 신호를 추정하는 알고리즘을 구현한 블록을 나타내고 있다.

일반적으로 PM BLDC 전동기의 경우 각 상의 위치 판별을 위해 각 상에 대해 Hall-IC를 갖는 것이 기본이다.

그러나 본 논문에서는 두 개의 Hall-IC를 이용하여 나머지 한 상의 신호를 추정할 수 있는 회로를 설계하는 방법을 제안하였다.

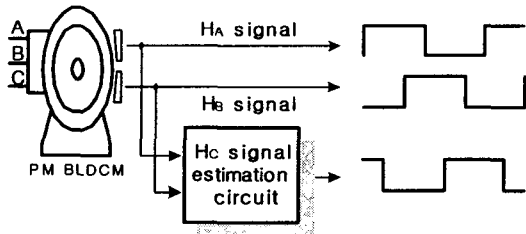


그림 3 제안된 Hall-IC (H_c) 추정 블록도
Fig. 3 The proposed Estimation Signal of the Hall-IC (H_c)

2.3 제안된 속도 판별 알고리즘 구현

그림 4는 Hall-ICs의 신호를 가지고 속도를 판별할 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 일반적으로 속

도를 측정하기 위해서는 레졸버나 엔코더와 같은 속도 센서를 사용해야만 한다. 그러나 본 논문에서는 위치 판별용 센서인 Hall-IC의 신호를 가지고 속도센서를 대신할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

Hall-IC는 120도의 위상차를 가지고 발생하며, 각상은 서로 60도씩 교차하게 되어있다.

이것을 기준으로 EPLD내에서 60도 마다 펄스가 발생 되도록 회로를 구현하고, 엔코더에서 발생하는 A상과 B상의 펄스와 같은 역할을 할 수 있도록 펄스를 발생시켜 저 분해능의 엔코더를 구성하였다.

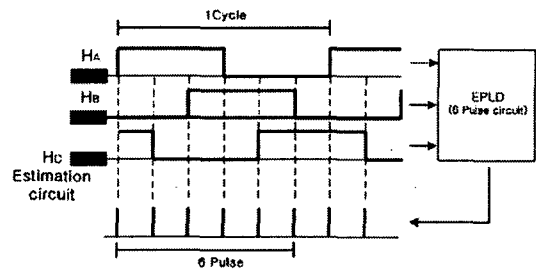


그림 4 홀 IC신호와 속도 펄스
Fig. 4 Speed Pulse and Hall-IC Signals

3. 시뮬레이션 결과

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

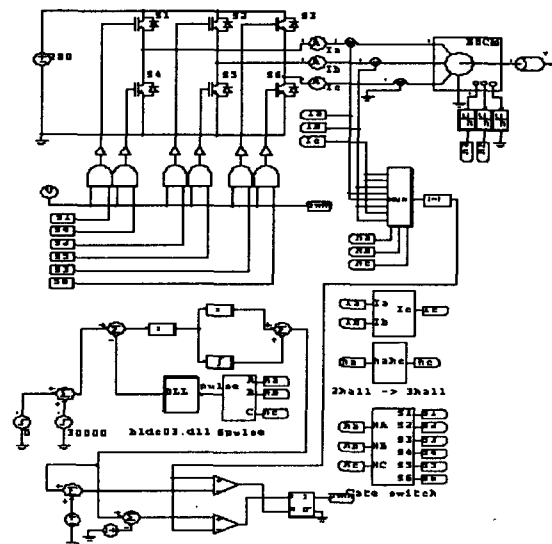


그림 5 PM BLDC Motor의 전체 시뮬레이션 블록도
Fig. 5 The overall block diagram of the developed model for PM BLDC Motor drive system

그림 5는 PM BLDC 전동기 구동 시스템의 전체 시뮬레이션 블록도를 나타내고 있다. 전체 구성은 PM BLDC 전동기, 인버터, 게이트 드라이버, 스위칭 로직, 6펄스 로직, 속도 및 전류 제어 블록으로 구현하였고, 6펄스 로직 부분은 PSIM내의 DLL을 이용하여 C로 작성하였다.

그림 6은 일반적인 PM BLDC 전동기의 위치 판별 센서로 이용되는 3개의 Hall-IC 신호를 나타내고 있으며, 각각의 Hall-IC 신호는 120도의 위상차를 가지고 각 상에 대한 회전자의 위치를 나타내고 있다.

그림 7은 Hall-IC 중 H_A 신호를 이용, H_C 신호를 추정하는 알고리즘을 사용하여 만들어진 H_C 신호를 나타내고 있다.

H_A 의 Hall-IC 신호를 가지고 적분기의 입력으로 사용하고 출력된 신호와 영점(0)을 비교기 입력으로 사용하여 영점(0)과 교차되는 지점에서 신호를 발생시키면 H_C 에 해당되는 Hall-IC 신호를 추정할 수 있다.

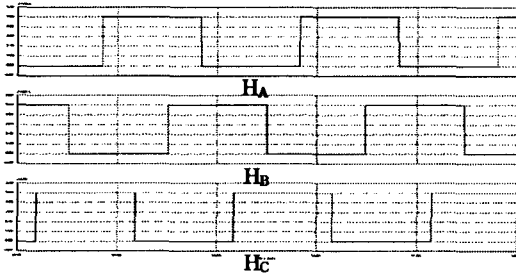


그림 6 각 상의 Hall-IC 신호 (1V/div, 1ms/div)
Fig. 6 Hall-IC signals of the Each Phase

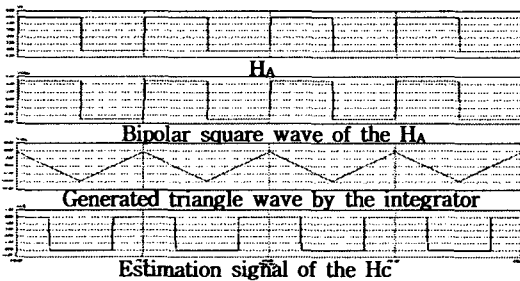


그림 7 Hall-IC (H_C) 신호 추정(1V/div, 1ms/div)
Fig. 7 Estimation Hall-IC Signal(H_C)

위와 같은 방법에 의해 추정된 Hall-IC(H_C)신호의 정확성은 그림 8을 통해 기존의 Hall-IC(H_C)신호와 비교하여 차이가 없음을 나타내고 있다.

그림 9는 속도 제어를 위해 2개의 Hall-IC신호(H_A , H_B)로부터 추정한 나머지 한상(H_C)신호를 포

함하각 상에 대한 Hall-IC 신호를 가지고 각각의 Hall-IC 신호의 상승시간과 하강시간을 검출, 60도 마다 펄스를 발생시킨다.

이는 프로세서의 카운터를 이용하여 속도를 측정할 수 있는 기준값으로 사용되어 진다.^{[3],[4]} 그림 10은 각 상전류 파형을 나타내고 있다.

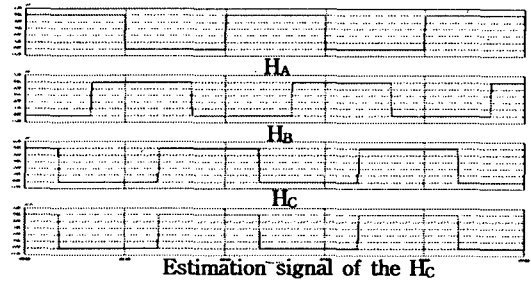


그림 8 Hall-IC 신호와 추정된 H_C 신호 (1V/div, 1ms/div)

Fig. 8 Hall-IC Signals and Estimation Signal of the H_C

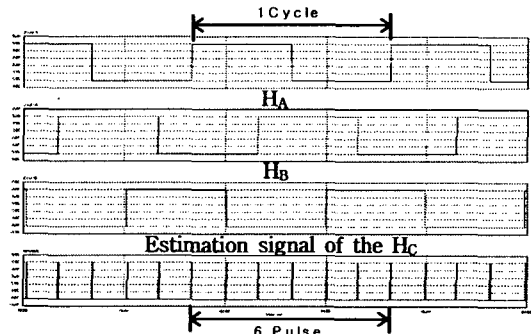


그림 9 6펄스 와 Hall-IC 신호 (1/div, 1ms/div)
Fig. 9 6-Pulse and Hall-IC Signals

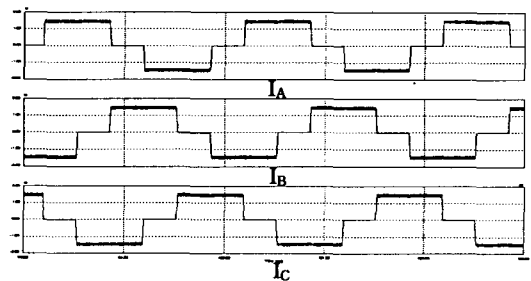


그림 10 각 상의 전류 파형(2A/div, 1ms/div)
Fig. 10 Each phase current waveforms

4. 실험 결과

본 논문에서는 저 가격의 80C196KC 제어보드를 사용하였으며 인버터는 고 신뢰성을 갖는 IPM을

사용하여 제작하였다.

그림 11은 2 Hall-ICs를 이용한 PM BLDC 전동기 구동 시스템의 전체 블록을 나타내고 있다.

본 시스템은 PM BLDC 전동기, 인버터, 게이트 드라이버, EPLD(Erasable Programmable Logic Device) 그리고 PI 제어 보드로 구성되어 있다. EPLD에는 스위칭 로직과 속도 측정을 위한 6펄스 발생, Hc신호 추정 알고리즘이 로직화 되어 구현하였다.

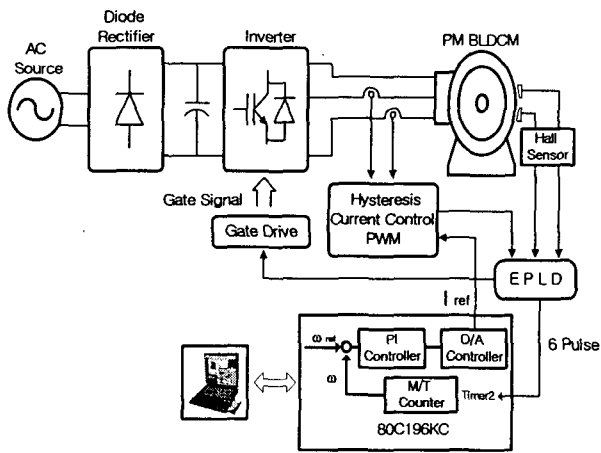


그림 11 PM BLDC 전동기의 구동 시스템
Fig. 11 PM BLDC Motor driving system

실험에 사용된 PM BLDC 전동기는 2극, Y결선으로 구성되어 있으며 사양은 표1과 같다.

표 1 PM BLDC 전동기 구동 시스템 사양
Table. 1 Specification of PM BLDC Motor

고정자 저항	0.88
입력 전압	90Vdc ~ 340Vdc
정격 입력 전력	1KW
정격 출력 전력	0.9KW
정격 속도	33000rpm
정격 전류	3.6Amps at 280Vdc
극수	2

그림 12은 실험에 사용된 EPLD 내부 블록을 나타내고 있다. EPLD 내부 구성은 BLDC 블록과 6 펄스 블록으로 구성되어 있다.

BLDC 블록의 경우 위치 판별 센서인 Hall-IC의 신호를 입력으로 인버터 (Tr1~Tr6)를 스위칭하도록 되어있으며, CW 와 CCW신호로 정·역회전을 가능하게 하였다.

이와 같은 기능을 VHDL을 이용 아날로그 설계보다 간단하고 외부 환경에 영향을 적게 받을 수

있게 설계할 수 있다. 6펄스 블록은 HA와 HB신호를 입력받아 앞서 제안한 방법으로 Hc신호를 생성하였다. 또한 Hall-ICs 신호를 가지고 6펄스를 만들어 속도 제어에 사용하게 된다.

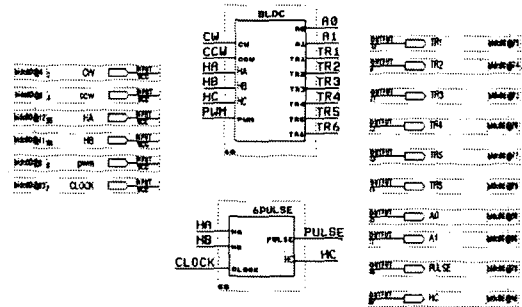


그림 12 EPLD 내부 블럭도
Fig. 12 Block diagram of EPLD

그림 13과 그림 14는 6펄스와 각각의 Hall-IC 신호를 20000rpm에서 비교한 것이다.

그림 13의 경우는 일반적으로 사용되는 3개의 Hall-ICs를 이용한 방법이고, 그림 14는 제안된 2개의 Hall-ICs를 이용한 방법으로서 서로 동일한 결과를 얻은 것을 알 수 있다.

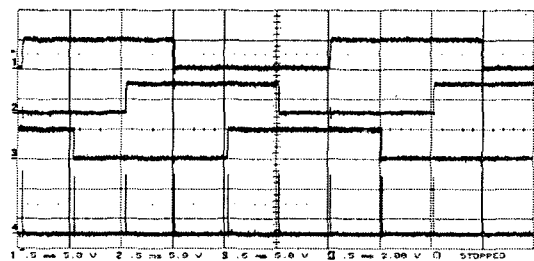


그림 13 Hall-IC 신호와 6펄스
(3개의 Hall-IC 이용, (1/div, 1ms/div))
Fig. 13 Hall-IC Signals and Pulses
(Using the three Hall-IC)

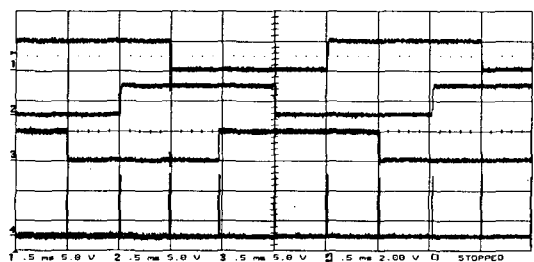


그림 14 Hall IC 신호와 6펄스
(2개의 Hall-IC 이용, 1/div, 1ms/div)
Fig. 14 Hall-IC Signals and 6 Pulses
(Using the two Hall-IC)

그림 15는 30000rpm으로 회전시 각 상의 전류를 나타내고 있으며, 속도는 6펄스 중 임의의 펄스 두 개 사이의 시간(t)을 검출함으로써 알 수 있다. 그림 16은 전체 실험 보드를 나타내고 있다.

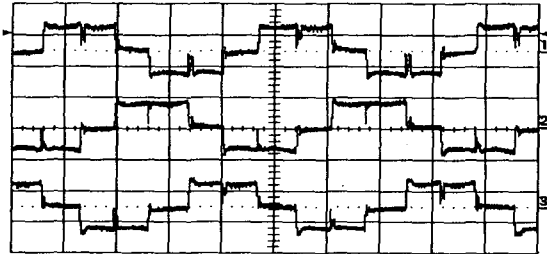


그림 15 각 상전류 파형(30000rpm, 2A/div, 0.5ms/div)
Fig. 15 The waveforms of each phase current

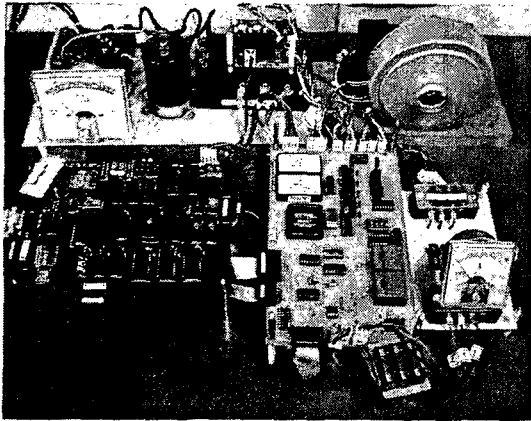


그림 16 전체 실험 세트
Fig. 16 Experimental Test Setup

4. 결 론

제안된 알고리즘으로 알고자 하는 C상의 Hall-IC(Hc)신호를 추정하고, 각 상의 Hall-IC 신호(H_A, H_B, H_C)를 이용하여 속도 제어를 하였다. 기존에 속도 제어를 가능하게 하기 위해 필요한 고가의 속도 센서인 레졸버와 엔코더 역할을 대신하여 전체적인 구동 회로의 가격을 최소한으로 감소시킬 수 있었다.

이는 실제 산업계에서도 정밀한 속도 제어를 요하지 않는 곳의 경우 기존에 PM BLDC 전동기 내부에 있는 위치센서를 가지고 속도 센서 역할을 대신할 수 있으므로 진공청소기 등에 응용이 가능하다.

이 논문은 에너지관리공단의 에너지절약기술개발 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었습.

참 고 문 헌

- [1] F. Caricchi, F. Giulii Capponi, F. Crescimbin, L. Solero, "Sinusoidal Brushless Drive with Low-Cost Hall Effect Position Sensors", IEEE Trans. Ind. Application, 2001, pp. 799-804.
- [2] Pragasen Pillay, Ramu Krishnan, "Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II: The Brushless Dc Motor Drive", IEEE Trans. Ind. Application, vol. 25, 1989, pp. 274-279.
- [3] Ting-Yu Chang, Ching-Tsai Pan, Jenn-Horng Liaw and Shinn-Ming Sue, "A Hall-Sensor-Based IPM Traction Motor Drive", IEEE Trans. Ind. Application, 2002, pp. 840-843.
- [4] Jong-Bae Lee, Tae-Bin Im, Ha-Kyong Sung, Young-Ouk Kim "A Low Cost Speed Control System of Brushless DC Motor Using Fuzzy Logic", IEEE Trans. Ind. Application, vol. 2, 1999, pp. 433-436.
- [5] Fang Lin Luo, Hock Guan Yeo "Advanced PM Brushless DC Motor Control & System for Electric Vehicles", IEEE Trans. Ind. Application, vol. 2, 2000, pp. 1336-1340.