

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.4.135>
JIIBC 2021-4-20

정현파 Hall Sensor 신호의 잡음제거를 위한 회로설계

Circuit Design for Noise Removal of Sine Wave Hall Sensor Signal

정성인*

Sungin Jeong*

요약 산업자동화에 적합한 구형파 구동 BLDC 영구자석 전동기 설계 및 개발, 위치검출방식 회로와 드라이버 개발에 관심이 증가하고 있다. 그러나 이 전동기는 스위칭 손실에 의한 효율 저하 및 진동, 소음 등으로 인하여 가격적·기능적인 장점에도 불구하고 그 응용에 있어서는 다소 제한적인 실정이다. BLDC 모터를 설계하고 조립하는 과정에 있어 자기회로 설계의 문제 또는 조립과정상의 제품 불 균일 등으로 인하여 자극 각이 균일하지 않거나 자속분포가 왜현되는 문제가 발생하는데, 이러한 것들이 위치검출 어긋남의 원인이 되어 모터 특성을 악화시킨다. 또한 위치센서로부터 발생된 신호가 정확히 드라이버로 피드백 되어야만 정현파 구동 BLDC 시스템이 안정적으로 동작할 수 있다. 그러나 발생된 신호가 외부의 영향인 자속밀도 편차나 착자 기술에 의해 DC offset 성분이 발생하여 안정적인 위치검출을 할 수 없기에 본 연구에서는 DC offset 성분을 제거할 수 있는 제안된 회로를 연구하고자 한다.

Abstract Interest is growing in the design and development of square wave driven BLDC permanent magnet motors suitable for industrial automation, and the development of position detection circuits and drivers. However, this motor is somewhat limited in its application despite the price and functional advantages due to the decrease in efficiency due to switching loss and vibration and noise. In the process of designing and assembling a BLDC motor, the magnetic pole angle is not uniform or the magnetic flux distribution is distorted due to problems in magnetic circuit design or product non-uniformity in the assembly process. Therefore, these things cause position detection deviation and deteriorate the motor characteristics. In addition, the sine wave driven BLDC system can operate stably only when the signal generated from the position sensor is accurately fed back to the driver. However, since the generated signal cannot perform stable position detection due to the occurrence of DC offset component due to magnetic flux density deviation or magnetization technology, which is an external influence, this study intends to study the proposed circuit that can remove the DC offset component.

Key Words : BLDC, Sine Wave Hall Sensor Signal, Flux Density Deviation, DC Offset Component

*정회원, 광주대학교 미래자동차공학과
접수일자 2021년 7월 5일, 수정완료 2021년 7월 29일
게재확정일자 2021년 8월 6일

Received: 5 July, 2021 / Revised: 29 July, 2021 /
Accepted: 6 August, 2021

*Corresponding Author: si.jeong@gwangju.ac.kr
Dept. of IT-Automotive Engineering, Gwangju University,
Korea

I. 서 론

반도체 장비, LCD 조립/측정 장비, Pick & Place 장치, 일정속도 회전기구 등의 제어성과 속응성을 요구하는 다양한 산업자동화 장비에 여러 종류의 영구자석 전동기가 사용되고 있다. 이 중에서도 특히 산업자동화에 적합한 구형파 구동 BLDC 영구자석 전동기 설계 및 개발, 위치검출방식 회로와 드라이버 개발에 관심이 증가하고 있다.

그러나 이 전동기는 스위칭 손실에 의한 효율 저하 및 진동, 소음 등으로 인하여 가격적·기능적인 장점에도 불구하고 그 응용에 있어서는 다소 제한적인 실정이다. BLDC 모터의 경우 회전자 자극의 위치를 브러쉬를 사용하지 않는 비접촉식 센서로 검출하고 전기자 코일에 순차적으로 전류를 흘려줘야 한다. 회전자 자극위치 검출은 표 1에 나타내었지만 비교적 구성이 간단한 홀소자와 광 반도체와 슬릿 원판을 사용한 광학적 방법이 많이 사용되고 있다.

BLDC 모터를 설계하고 조립하는 과정에 있어 자기회로 설계의 문제 또는 조립과정상의 제품 불 균일 등으로 인하여 자극 각이 균일하지 않거나 자속분포가 왜현되는 문제가 발생하는데, 이러한 것들이 위치검출 어긋남의 원인이 되어 모터 특성을 악화시킨다^[1]. 따라서 착자패턴을 구형파 분포로 하는 경우에 전류(轉流)시에 스위칭 전류의 증가로 노이즈, 소음, 토크 맥동, 회전의 불 균일의 요인이 되므로 위치검출 회로의 설계에서 정현파 구동 방식을 사용하여 위의 문제점을 본 연구를 통해 연구한다.

또한 위치 센서로부터 발생된 신호가 정확히 드라이버로 피드백 되어야만 정현파 구동 BLDC 시스템이 안정적으로 동작할 수 있다. 그러나 발생된 신호가 외부의 영향인 자속밀도 편차나 착자 기술에 의해 DC offset 성분이

표 1. 위치검출의 방식

Table 1. Detailed development of electric driver applying

방식	특징	비고
홀소자	위치 검출기구가 간단	재료에 따라 GaAs계, InSb계로 분류
광학	광반도체 소자(Photo diode)를 주로 이용	판재식과 투과식
고주파유도	코일의 인덕턴스의 변화를 검출	
고주파발전	발전기의 Q (공진의 첨예도) 발전을 On, Off한다.	
Lead Switch	구조가 간단.	
자기저항 소자	자전변화(MR) 소자를 사용, 홀소자방식과 동등	

발생하여 안정적인 위치검출을 할 수 없기에 본 연구에서는 DC offset 성분을 제거할 수 있는 제안된 회로를 연구하고자 한다.

II. 정현파 구동방식과 신호보상^[2-4]

그림 1과 2는 3상 BLDC 전동기의 정현파 구동을 위한 방식으로 그림 1은 전파구동방식으로 전류교체수 : 3, 전기자 코일 통전 : 쌍방향, 토크리플이 적어 고효율이므로 VTR의 다이렉트 드라이브 캡스틴 모터등과 같이 로터의 기계적 시정수만으로 저속회전시의 고회전 정밀도를 요구받는 기종에 사용된다. 따라서 반파구동방식에 비해 통전방향이 쌍방향으로 유효토크영역이 넓은 장점을 가지고 있다.

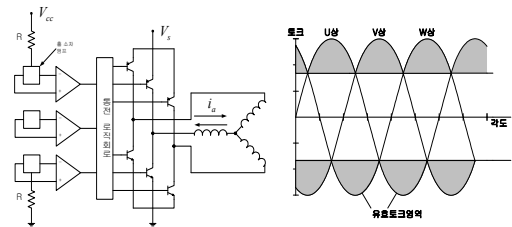


그림 1. 3상 BLDC 전동기 구동 (전파구동방식)
Fig. 1. 3-phase BLDC motor drive (full-wave drive method)

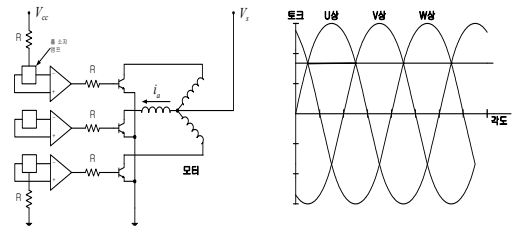


그림 2. 3상 BLDC 전동기 구동 (반파구동방식)
Fig. 2. 3-phase BLDC motor drive (half-wave drive method)

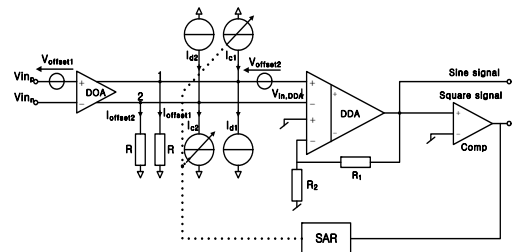


그림 3. 신호 보상을 위한 블록도
Fig. 3. 3-phase BLDC motor drive (half-wave drive method)

반면에 그림 2는 반파구동방식으로 전류교체수 : 3, 전기자 코일 통전 : 한쪽방향, 3상구동방식의 기본형으로 회로구성이 간단하고, 저가격 회로가 제공되는 이점이 있다.

그림 1의 통전 로직회로내의 세부 사항에 대한 내용을 그림 3과 같이 신호 보상을 위한 블록도로 나타낼 수 있다. Hall Effect Sensor에서 나오는 신호는 자속밀도 편차나 착자기술에 따라서 변화기에 그 값을 보상을 해주기 위한 기본 개념도로서 6-bit 전류 모드 DAC, 비교기, 알고리즘을 수행할 수 있는 디지털 블록 등으로 구성할 수 있다. 신호 보상을 블록도에서 전기적인 입력단과 출력단이 센서에 의한 DC offset을 없애기 위한 알고리즘이 추가적으로 사용될 수 있다. 또한 보상된 정현파신호를 이용하여 최종적으로 모터 구동드라이버단의 구형파를 제공하고 DC offset을 없애기 위한 알고리즘을 구동할 수 있게 하는 추가 비교기가 필요로 한다.

III. 정현파구현 및 DC offset 제거를 위한 모델링 설계 및 실험결과^[5,6]

BLDC 전동기의 착자패턴을 구형파 분포로 하는 경우에 전류(轉流)시에 스위칭 전류의 증가로 노이즈, 소음, 토크 맥동, 회전의 불 균일이 발생된다. 따라서 위치검출 회로의 설계에서 정현파 구동 방식을 적용하기 위해 본 논문에서는 정현파를 구현할 수 있는 방법에 대해 1) 아날로그 회로, 2) 프로세서, 3) 좌표변환 방식을 이용한 각각의 모델링에 대해 연구를 하였다.

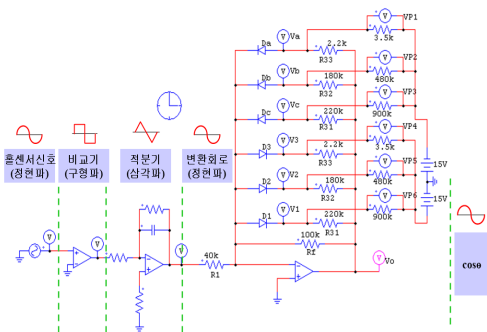


그림 4. 아날로그 회로를 이용한 정현파구현 회로구성
 Fig. 4. Sine wave implementation circuit configuration using analog circuit

그림 4는 아날로그 회로를 이용하여 정현파구현 모델링 회로로 OP-Amp와 기타 소자들을 이용하여 홀센서의 정현파 출력신호가 비교기와 적분기, 변환회로를 거쳐 최종적으로 Cosine에 해당되는 정현파를 발생시키는 회로이다. 따라서 120도의 위상차를 두고 출력으로 나오는 3개의 홀센서신호는 주변의 외부영향으로 인한 잡음을 제거하여 신호를 보상할 수 있다.

그림 5는 프로세서를 이용한 정현파구현 구성도로 홀센서의 정현파 출력신호는 OP-Amp, F/V Converter, A/D 회로를 거쳐 마이크로세서를 이용하여 입력변수에 따른 정현파를 출력으로 발생시킨다.

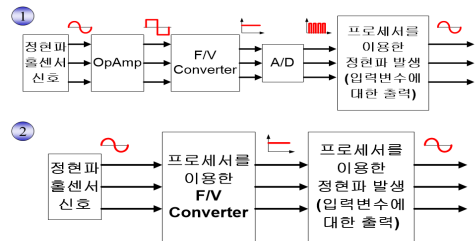
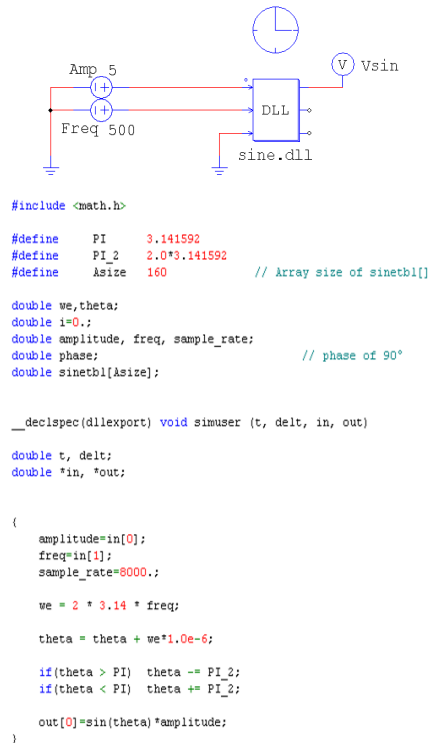


그림 5. 프로세서를 이용한 정현파구현 구성도
 Fig. 5. Sine wave implementation configuration diagram using processor



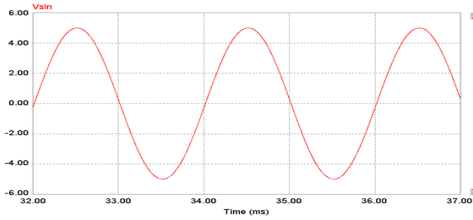


그림 6. 프로세서에 적용된 C 프로그램과 구현된 정현파신호
Fig. 6. C program applied to the processor and implemented sinusoidal signal

PSIM 시뮬레이션 프로그램에서 DLL 기능을 이용하여 그림 6과 같이 설계된 C 언어를 통해 구현된 정현파 신호의 결과를 볼 수 있다. 따라서 앞서 언급한 외부의 영향인 자속밀도 편차나 착자로 인한 잡음이 제거된 신호를 얻을수 있다.

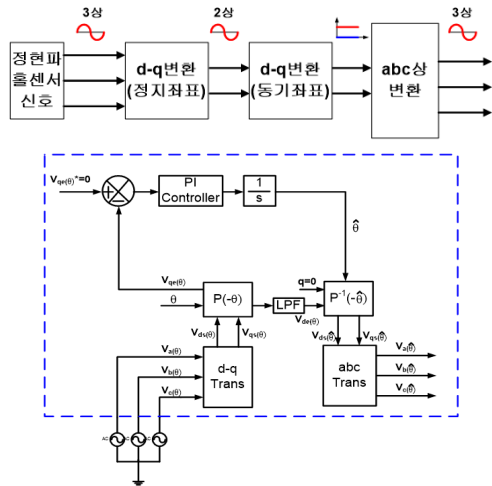


그림 7. 좌표변환 방식을 이용한 정현파구현 구성도
Fig. 7. Sine wave implementation configuration diagram using coordinate transformation method

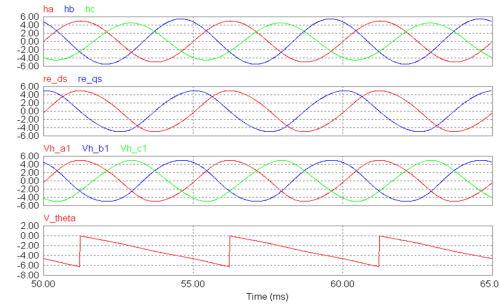
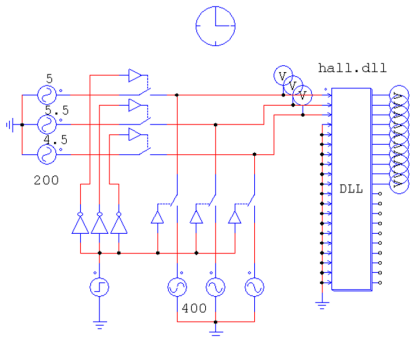


그림 8. 좌표변환 방식을 이용한 정현파구현 모델링 회로와 정현 파신호
Fig. 8. Sine wave implementation modeling circuit and sine wave signal using coordinate transformation method

홀센서의 정현파 출력신호를 정지좌표, 동기좌표로 각각 3상을 2상으로 d-q 변환 후 abc상 변환하는 좌표변환 방식을 이용한 정현파구현 구성도를 그림 7에서 모델링 된 회로와 구현된 정현파 출력신호를 그림 8에서 각각 보여주고 있다. 1) 아날로그 회로, 2) 프로세서, 3) 좌표 변환 방식을 이용한 각각의 모델링회로 설계를 통해 왜 현된 신호를 보상해줄 수 있는 결과를 확인할 수 있다.

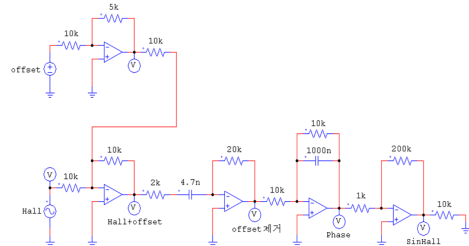


그림 9. 정현파신호에서 DC offset 성분 제거회로
Fig. 9. DC offset component removal circuit from sine wave signal

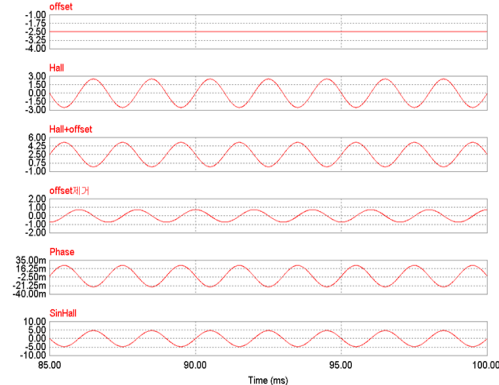


그림 10. 정현파신호에서 DC offset 성분 제거를 위한 각부 파형
Fig. 10. Waveform of each part to remove DC offset component from sine wave signal

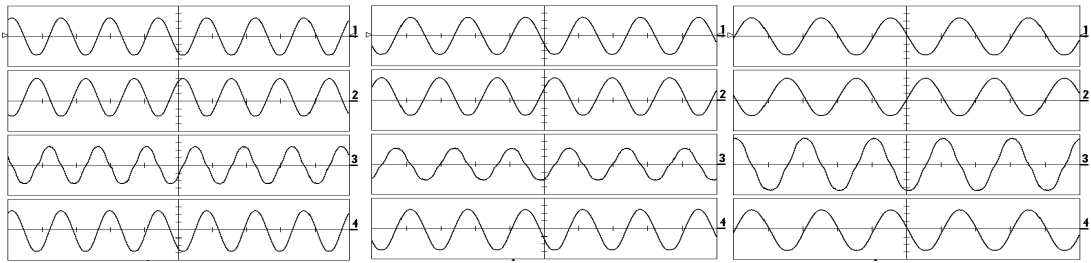


그림 11. DC offset 1V 발생 시 잡음제거 (Offset 신호 제거), CH1, 2, 4 (1V/div.)
 (CH1 : 홀센서 신호, CH2 : 홀센서 신호+DC offset 신호, CH3 : Offset 제거 신호, CH4 : Offset 제거 후 CH1 신호에 동기화)
 Fig. 11. Removal of noise when DC Offset 1V occurs (Offset signal removal)

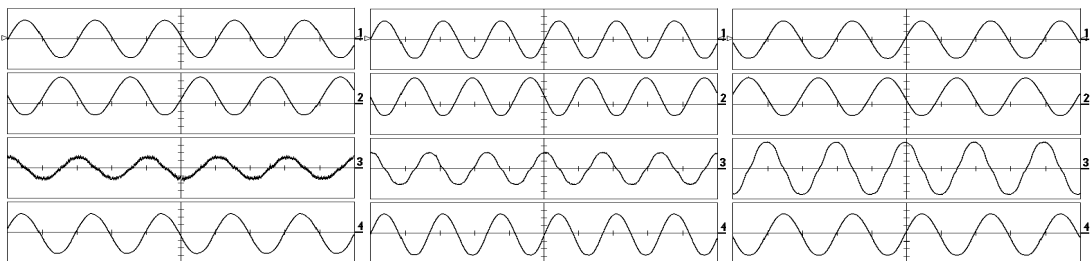


그림 12. DC offset 2V 발생 시 잡음제거 (Offset 신호 제거), CH1, 2, 4 (1V/div.)
 (CH1 : 홀센서 신호, CH2 : 홀센서 신호+DC offset 신호, CH3 : Offset 제거 신호, CH4 : Offset 제거 후 CH1 신호에 동기화)
 Fig. 12. Removal of noise when DC Offset 2V occurs (Offset signal removal)

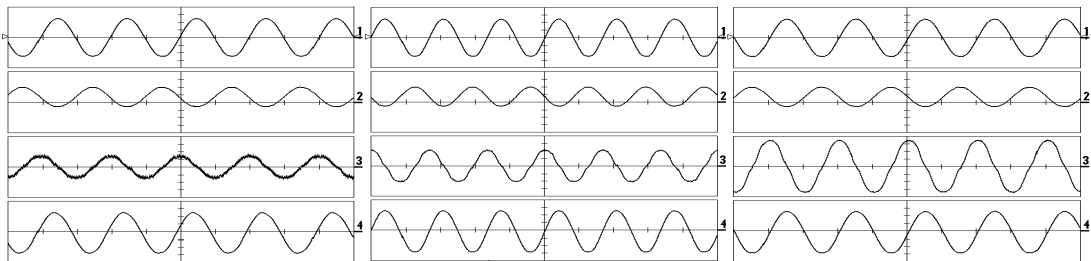


그림 13. Offset 3V 발생 시 잡음제거 (Offset 신호 제거), CH1, 4 (1V/div.), CH2 (2V/div.)
 (CH1 : 홀센서 신호, CH2 : 홀센서 신호+DC offset 신호, CH3 : Offset 제거 신호, CH4 : Offset 제거 후 CH1 신호에 동기화)
 Fig. 13. Removal of noise when DC Offset 3V occurs (Offset signal removal)

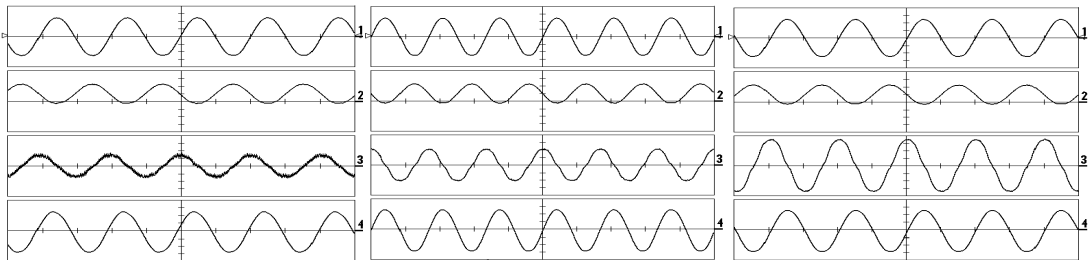


그림 14. Offset 4V 발생 시 잡음제거 (Offset 신호 제거), CH1, 4 (1V/div.), CH2 (2V/div.)
 (CH1 : 홀센서 신호, CH2 : 홀센서 신호+DC offset 신호, CH3 : Offset 제거 신호, CH4 : Offset 제거 후 CH1 신호에 동기화)
 Fig. 14. Removal of noise when DC Offset 4V occurs (Offset signal removal)

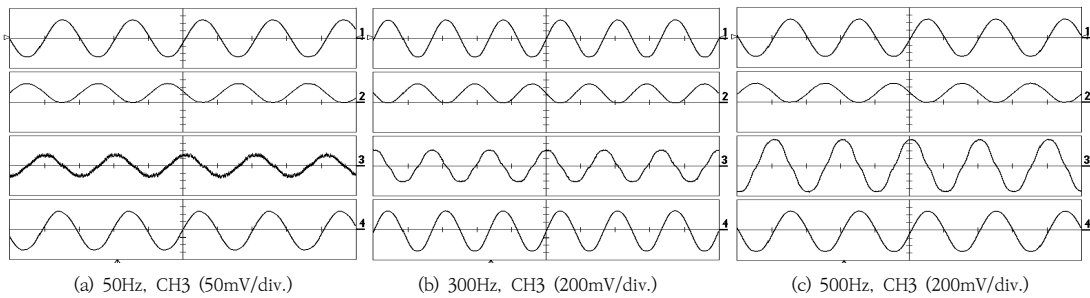


그림 15. Offset 5V 발생 시 잡음제거 (Offset 신호 제거), CH1, 4 (1V/div.), CH2 (2V/div.)

(CH1 : 홀센서 신호, CH2 : 홀센서 신호+DC offset 신호, CH3 : Offset 제거 신호, CH4 : Offset 제거 후 CH1 신호에 동기화)
 Fig. 15. Removal of noise when DC Offset 5V occurs (Offset signal removal)

홀센서의 정현파 출력신호에 DC offset 성분이 함유되었을 때 DC offset 잡음제거를 위한 회로설계를 그림 9와 같이 설계하였으며 이에 따른 결과를 그림 10에 보여주고 있다. 1) 홀센서로부터 발생된 정현파신호에 DC offset 성분이 함유된 신호에서 2) 설계된 적분기를 이용하여 DC offset 성분의 잡음 제거 후 3) 기존 홀센서 신호와의 동기화를 위해 phase shift 회로를 이용하여 4) 최종적으로 offset이 제거된 정현파신호를 얻을 수 있는 결과를 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 설계한 회로를 통해 DC offset신호를 제어함으로써 위치검출의 어긋남으로 인하여 발생하는 문제점들을 개선시킬 수 있다.

그림 11~15는 그림 9에서 나타난 정현파신호에서 DC offset 성분 모델링 회로에 대해 하드웨어 설계를 통한 실험결과로 DC offset 1V~5V 발생시 전동기속도에 따른 주파수 50, 300, 500Hz에서 잡음이 제거(DC offset)된 결과를 보여주고 있다. 전동기 속도에 따른 주파수 변화와 DC offset의 크기를 1V~5V의 변화를 주었을 때 설계된 회로에서 적분기를 통한 DC offset 신호제거와 phase shift회로를 통한 홀센서 신호와의 동기화된 정현파신호의 결과를 확인할 수 있다.

V. 결 론

BLDC 모터를 설계하고 조립하는 과정에 있어 자기회로 설계의 문제 또는 조립과정상의 제품 불 균일 등으로 인하여 자극 각이 균일하지 않거나 자속분포가 왜현되는 문제가 발생한다. 또한 위치 센서로부터 발생된 신호가 외부의 영향인 자속밀도 편차나 착자 기술에 의해 DC offset 성분이 발생하여 안정적인 위치검출을 할 수 없는

문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 DC offset 성분, 잡음을 제거할 수 있는 제안된 회로를 연구 및 설계를 통해 정현파구동에 따른 위치검출의 문제점을 개선하였다.

References

- [1] T. Kenjo and S. Nagamori, Permanent Magnet and Brushless DC Motors, Tokyo: Sogo Electronics, 1984.
- [2] S. I. Jeong, "Development of Position Sensor Detection Circuit using Hall Effect Sensor," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 21, No. 2, pp.143- 149, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.2.143>
- [3] M. Kayal; F. Burger; R.S. Popovic, "Magnetic Angular Encoder using an Offset Compensation Technique," IEEE Sensors Journal, Vol. 4, No. 6, pp. 759~763, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2004.836864>
- [4] F.A. Phan, "A Hall-Effect Magnetic Field Detector," Proc. of IEEE Bioengineering, pp. 255-256, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.1109/NEBC.1991.154671>
- [5] PSIM User's Manual, Powersim Inc.
- [6] Continuous-Time Ratonetric Linear Hall Effect Sensors (1301 and A1302), Allegro Microsystem, Inc.

저 자 소 개

정 성 인(정회원)



- 2001년 : 동국대학교 전기공학과 (공학사)
- 2003년 : 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2015년 : Technical University Braunschweig 전기정보물리공학과 (공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 미래자동차공학과 조교수
- 주관심분야 : 전기구동 퍼스널 이-모빌리티 부품 및 시스템

※ 이 연구는 2021년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.