

Signal Brush를 적용한 BLDC(Brushless DC) 모터 위치 검출

김영필* · 김시경**†

*† 공주대학교 전기전자제어공학과, ** 공주대학교 전기전자제어공학과

Study on BLDC (Brushless DC) Motor Position Detection by Adding Signal Brush

Young Pil Kim* and Si Kyung Kim**†

*† Department of Electrical Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

Recently, high-performance BLDC(Brushless DC) motors are being applied to various fields such as industrial and personal mobility devices and drones. To achieve the best performance of BLDC, sensors such as hall sensors, encoders, and resolvers are used to determine the position of the rotor, and various speed control technologies are being developed. However, due to problems with high-speed control due to external environmental factors and frequency bandwidth of semiconductor sensing devices, research on BLDC motors without semiconductor sensing devices is in progress. Therefore, in this study, a signal brush was added to the end of the rotor of a BLDC motor and the rotor position of the BLDC motor was detected by analyzing the signal output through the signal brush.

Key Words : Brushless DC Motor, Brush Signal, High Speed Motor, Position Detection

1. 서 론

최근 고성능 BLDC 모터가 산업용 및 개인형 이동장치, 드론 등의 다양한 분야에 적용되고 있다. BLDC 모터는 선형적인 토크 대 전류, 속도 대 전압 특성을 지니므로 가 변속 운전 및 제어가 용이하고 소형으로 고효율을 얻을 수 있는 장점을 갖고 있다[1-4]. 또한 동기전동기의 구조와 유사하게 고정자에 권선을 하고, 회전자에 영구자석을 배치하는 구조로 관성이 작아 동적 특성이 뛰어나다. 방열 성능은 고정자 권선의 배치에 따라 우수한 특성을 갖음에 따라 높은 온도에 의한 감자 현상을 예방하는데 용이하다[5-8]. 이러한 BLDC의 최고의 성능을 구현하기 위해 Hall Sensor와 Encoder, Resolver와 같은 센서를 활용하여 회전자의 위치를 파악하고, 다양한 속도제어 기법이 개발되고 있다. 여기서 자속밀도에 비례하여 전압을 발생

시키는 홀 효과를 이용하는 Hall Sensor의 경우 BLDC 모터의 120° 간격을 두고 부착하여 자속을 측정하지만 초고속 모터 시스템 산업 현장, 동작기계의 스핀들 구동용, 또는 터보 압축 펌프나 마이크로 터빈과 같이 다양한 분야의 고속 운전에서 위치 검출에 대한 여자 시점의 지연 없이 전류의 전환 및 저속, 고속에서 속도 제어 시스템 구현하기가 매우 난해하고, 주파수 대역폭 한계로 인하여 고속 회전에 어려움이 있다[9-11].

Optical Encoder는 수많은 슬롯을 동일한 원주 상에 위치할 수 있도록 설계되어 있다. 2개의 수광부를 외부 발광부에서 발생하는 빛을 90°의 전기적 위상을 갖도록 한다. 추가적으로 수광부에 비교기를 적용하여 디지털화된 신호를 카운터 하여 위치를 측정한다. 측정된 신호를 모터 축의 위치 시스템 컨트롤러에 인가하여 속도, 방향, 각속도에 대한 제어를 수행한다. 하지만 먼지나 외부 환경, 광학량 변화 등의 원인으로 위치 검출 에러가 발생하는 문제점이 있다[12]. 이에 따라 최근 반도체 소자 센서를 적용

†E-mail: skim@kongju.ac.kr

하지 않은 고속 BLDC 모터의 위치 검출에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구는 BLDC 모터 위치 검출 반도체 센서를 적용한 고속 회전 BLDC 모터의 위치 주파수 대역폭 한계, 동작 환경에 따른 위치 검출 오류 등의 단점을 극복하기 위해 위치 검출 반도체 센서를 Signal Brush로 대체하여 모터의 위치 검출을 수행하였다. Signal Brush를 적용하여 모터의 위치 검출을 위해 BLDC 회전자 끝단에 회전자와 같이 회전하는 정류자 Signal Brush를 설계하고, Fig. 1과 같이 시스템을 구성하여 모터 회전에 따른 Signal Brush의 신호 비교 분석을 수행하였다.

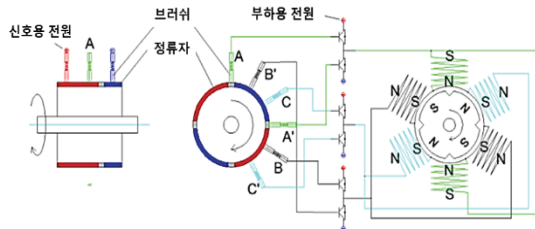


Fig. 1. Brush Signal BLDC System.

2. Signal Brush

BLDC의 회전자에 연결된 정류자의 Signal Brush 신호를 Table 1과 같은 이진(Binary) 형태의 A, B, C 이진 전압으로 출력하기 위해 Fig. 1의 신호용 전원에 3.3V의 전원을 인하고, Fig. 2와 같은 구조로 Signal Brush를 설계하였다. Signal Brush 출력 전압은 0V 또는 3.3V의 2가지 조건으로 0V일 때 0, 3.3V일 때 1로 Table 1에 표기하였다. 신호 전압이 출력될 때 0이진(Binary) 형태는 회전 축의 위치 검출과 직접 대응되고, 비트 수를 형성한다. 이진(Binary) 형태의 전압은 회전 단계별 변화량이 1비트이므로, 최소 변화 코드 조건을 만족하여 오차를 최소로 줄일 수 있다.

Table 1. Binary Type Signal Brush Signal

Brush	Signal				
A	1	1	0	0	1
B	0	1	1	1	0
C	0	0	0	1	1

구조적으로 Signal Brush가 회전자와 물리적으로 맞닿게 하여 출력되는 신호로 모터 회전자의 위치를 파악할 수 있도록 BLDC 모터의 회전자 끝단에 부착하고, 회전자와 같이 회전할 수 있도록 설계하였다. 이에 기존 BLDC의 위치 검출 반도체 센서인 Hall Sensor와 Encoder, Resolver를

대체했다. 또한 접촉에 의한 마모성을 고려하여 내마모성을 고려한 도체 재질로 설계하였다.



Fig. 2. Signal Brush Design.

Fig. 3은 Fig. 2의 설계를 바탕으로 실제 제작된 Signal Brush이다.



Fig. 3. Signal Brush.

3. 실험장치 및 구성

Signal Brush를 적용한 BLDC 모터를 회전시키기 위해 Hall Sensor Type BLDC 모터와 Signal Brush를 적용한 BLDC 모터를 프레임으로 결합하기 위해 Fig. 4와 같은 지그를 제작하였으며, Fig. 5와 같이 Hall Sensor Type BLDC 모터와 본 연구에서 제시하는 Signal Brush를 적용한 BLDC를 결합하였다.

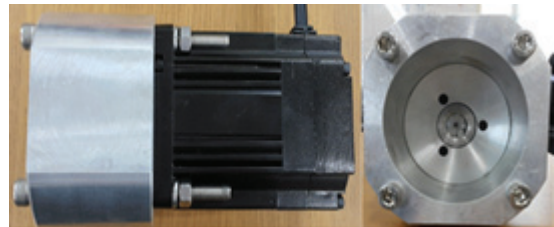


Fig. 4. Motor Frame.

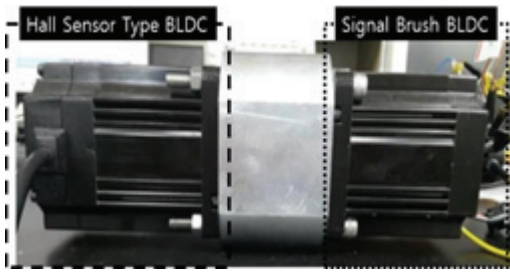


Fig. 5. Motor combination.

Signal Brush의 출력 신호를 측정하기 위해 Fig 6과 같이 탄소봉과 구리봉을 연결한 신호 측정봉을 제작하여 Signal Brush와 접촉을 시켜 Signal Brush의 마모를 최소화하였다. 또한 Signal Brush의 전원신호를 인가하기 위해 신호 측정봉과 동일하게 탄소봉과 구리봉을 연결한 전원 인가봉을 추가 제작하여 신호전원을 인가하였다.

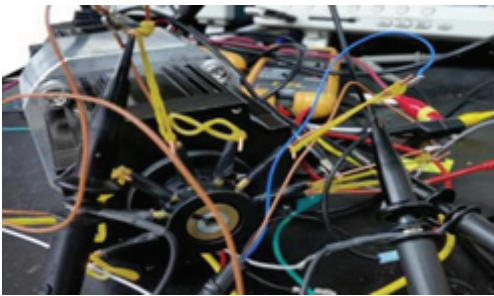


Fig. 6. Signal Measurement with Signal Brush.

신호 측정봉은 Fig 7과 같이 30° 간격으로 홈을 뚫고, 각 홈에 탄소봉을 삽입하였다. 탄소봉이 가벼운 탄성으로 회전자와 접촉하도록 구리봉을 고무줄로 고정된 후 탄소봉에 적당한 압력을 인가할 수 있도록 하였다.

탄소봉을 거쳐서 구리봉에서 나오는 신호는 오실로스코프를 활용하여 신호를 측정하였다.

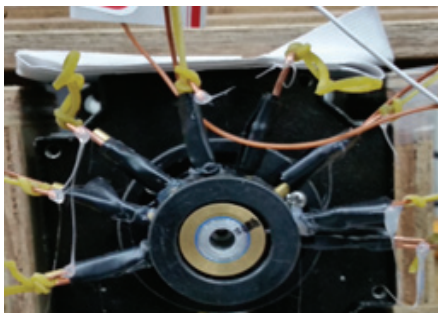


Fig. 7. Signal pole placement.

4. 실험결과

모터의 회전에 따른 모터 회전 파형과 Signal Brush 신호를 확인한 결과 Fig 8과 같은 신호를 확인하였다. Signal Brush에서 출력되는 신호는 Hall Sensor의 120° 위상차의 파형과 유사하게 출력 되었다. 출력 파형을 60°로 구분하여 Table 1과 같이 이진 형태의 출력 제어 신호로 구분이 가능하다. 또한 회전에 따른 입력 파형에 맞춰 위치 신호가 출력됨을 확인하였다.

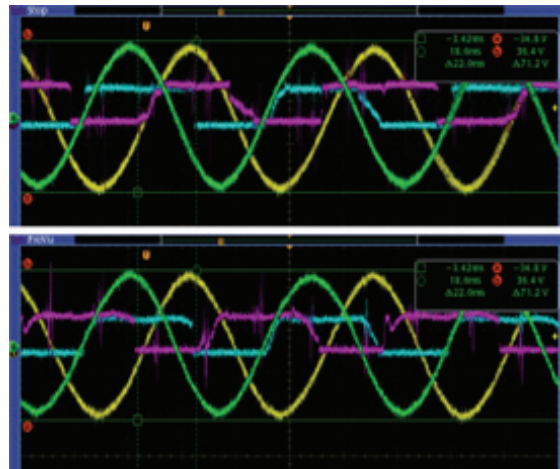


Fig. 8. Signal Brush BLDC measurement signal.

각각 상의 모터 회전 방향에 따른 Signal Brush 센서의 각 상의 파형과 전류 파형을 확인한 결과 그림 9와 같이 측정되었다.

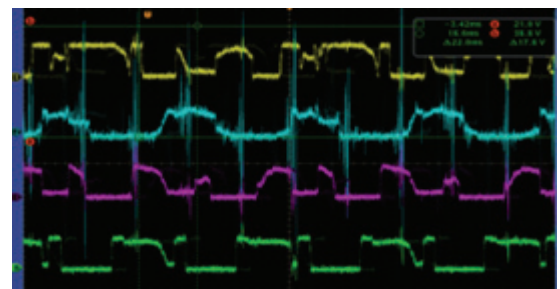


Fig. 9. Waveform and current waveform of each phase of the Signal Brush BLDC Motor signal.

모터의 회전속도를 증가시켰을 때 Fig 10과 같은 각 상의 파형과 전류 파형이 측정되었다.

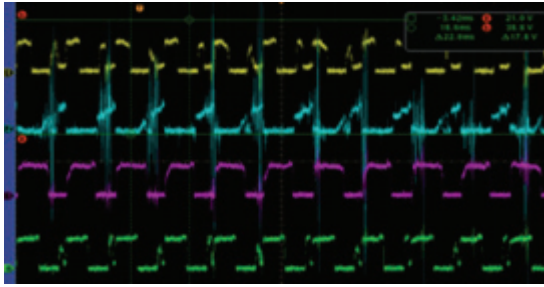


Fig. 10. Waveform and current waveform of each phase of the Signal Brush BLDC Motor signal(Increase Speed).

5. 결 론

본 연구는 BLDC 모터 위치 검출 반도체 센서를 적용한 고속 회전 BLDC 모터의 위치 주파수 대역폭 한계, 동작 환경에 따른 위치 검출 오류 등의 단점을 극복하기 위해 위치 검출 반도체 센서를 Signal Brush로 대체하여 모터의 위치 검출을 수행하였다. 모터 회전 방향에 따른 Signal Brush의 출력 전압, 전류 파형을 분석한 결과 기존 반도체 센싱 소자를 적용하여 출력되는 전압, 전류 신호와 유사함을 확인하였다. 따라서 기존 위치 검출 반도체 센서를 적용한 BLDC 모터를 Signal Brush 위치 검출 기법으로 적용이 가능하다고 사료된다. 또한 최근에 많은 관심을 받고 있는 회전 LED 디스플레이 연구에도 Signal Brush 적용 BLDC 모터를 사용할 수 있을 것으로 판단된다[13].

감사의 글

본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-004)

참고문헌

1. J. H. Song, J. S. Jang, and B. T. Kim, "Reduction of torque ripple in a BLDC motor using an improved voltage control," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 2, pp. 145-150, Feb. 2010.
2. T. Y. Kim, J. Lyoo, "Sensorless Drive of the BLDC Motor using a Line Voltage Difference", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol 19, no.6, pp. 508-512, 2013.
3. T. S. Kim, B. G. Park, D. M. Lee, J. S. Ryu, and D. S.

- Hyun, "A new approach to sensorless control method for brushless DC motors," *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 477-487, Oct. 2008.
4. T. H. Kim, M. Ehasani, "Sensorless control of the BLDC motors from near-zero to high speeds," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 19, no. 6, pp. 1635-1645, 2004.
5. C. Cui, G. Liu, K. Wang, "A novel drive method for high-speed brushless DC motor operating in a wide range," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 30, no.9, pp. 4998-5008, 2015.
6. C. Cui, G. Liu, K. Wang and X. Song, "Sensorless drive for high-speed brushless DC motor based on the virtual neutral voltage," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 30, no. 6, pp. 3275-3285, 2015.
7. H. Grabner, W. Amrhein, S. Silber, W. Gruber, "Nonlinear feedback control of a bearingless brushless DCmotor," *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 15, no. 1, pp. 40-47, 2010.
8. D. G. Dorrell, M. F. Hsieh, A. M. Knight, "Alternative rotor designs for high performance brushless permanent magnet machines for hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 48, no. 2, pp. 835-838, 2012.
9. H. H. Cho, W. B. Kim, "Sensorless Control of High-Speed BLDC", *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no.3, pp. 503-512, 2020.
10. K. A. Corzine and S. D. Sudhoff, "A hybrid observer for high performance brushless dc motor drives," *IEEE Trans. on Energy Conversion* vol. 11, no. 2, pp. 318-323, 1996.
11. S. I. Jung, "Pulse Width Variable Control of Rotor Position Detection Signal for BLDC Motor Driving Control," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 69, no. 10, pp. 1484-1489, 2020.
12. S.E. Cho, S. H. Lee, S. G. Song, S. J. Park, S. J. Kwon, C. U. Kim, "A Study on Novel Hybrid Type Encoder Design for the Position Control with the high-resolution," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 10, No. 1, pp. 87-94, 2005.
13. H.S. Bang, J.H. Cho, Y.T. Kim, "A Study on the Design of a POV Display Drone" *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 30, No. 6, pp. 437-443, 2020.

접수일: 2024년 1월 17일, 심사일: 2024년 3월 6일,
게재확정일: 2024년 3월 20일