

고속 7상 6극 브러시리스 직류전동기 전용 엔코더 개발

빈재구, 공영경, 송중환, 김병섭
국방과학연구소, (주)효성

The Development of the Encoder for 7 phases 6 poles BLDC Motor of High Speed

J. G. Bin, Y. K. Kong, J. H. Song, B. S. Kim
ADD., Hyosung Corp.

Abstract - In general, to get the accurate switching point of power electronic components is dependent on a given rotor position by the encoder. However, a conventional encoder may not be used to detect position and speed of the developed motor due to the very high speed. Thus, an encoder that uses the hall effect directly was designed and applied. This paper presents the developed encoder that meet requirement of military purpose. To confirm the developed encoder, the experimental results are shown.

제어반에 비해 적은 용량의 전력 소자를 사용하여 분산시킬 수 있으므로 IGBT와 같은 전력소자의 부담을 줄이고 조립이 용이하다. 또한 전류 리플을 동일 용량의 3상 전동기에 비해 약 2배 가량 감소시킬 수 있다. 또한, 고속(25000rpm) 회전을 통해 체계적용에 중요한 부분이 부피를 줄일 수 있게 되어 체적대비 출력을 3kw/kg으로 극대화하였다. 그러나, 이러한 속도의 증가는 감속기의 사용으로 부가적인 소음/진동 문제의 해결을 필요로 하였다. 그림1은 추진 시스템의 기본 구성도이다.

1. 서 론

브러시리스 직류전동기는 특성상 전원인가 순서를 정하기 위해 회전자 위치 검출을 위한 위치검출장치가 필수적이다. 따라서 회전자 위치 정보와 속도를 검출하기 위해 상업용으로는 절대치 엔코더가 주로 사용되어 왔고, 군사용으로는 강인성을 고려하여 래졸버를 지금까지 위치검출장치로 사용되어져 왔다. 그러나 군사상의 목적으로 개발된 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 경우 회전자 25000rpm 정도의 고속으로 회전하고 엔코더를 사용할수 있는 공간의 제약을 받기 때문에 기존의 위치 검출장치는 적용함에 있어 많은 제약이 따른다. 따라서, 본 전동기를 개발하는 과정에서 고속 회전용 7상 6극 브러시리스 직류전동기 구동에 적합하고 군사용으로 고신뢰성을 보장 할 수 있는 전용 엔코더를 개발하였다.

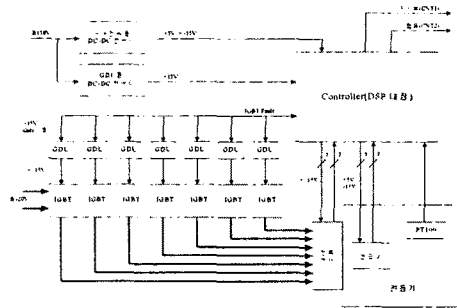


그림 2. 드라이브 전체 구성도

그림 2는 드라이브 전체 구성도로 DC-DC 컨버터, 제어기, 파워부, 전류센서, 엔코더로 나눌 수 있다. 우선, 배터리로부터 150V를 입력받아 DC-DC컨버터를 통해 제어전원, Gate Drive Unit(GDU) 전원을 만들게 되며 제어기는 지시부에서 속도 지령을 받아 아날로그 전류제어기와 디지털 속도제어기를 통해 계산된 펄스를 파워부에 인가하게 된다. 펄스를 받은 GDU와 IGBT는 320V를 스위칭하여 전동기에 전원을 공급한다. 전동기 입력전류는 전류센서를 통해, 속도와 위치는 엔코더를 통해 제어기로 귀환되어 전류제어와 속도제어가 행해진다.

2. 본 론

2.1 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 특성

군사용 전동기는 고속, 고출력, 고신뢰성, 저소음의 특성을 가져야 하며 이러한 성능을 구현하기 위한 전동기/드라이브의 설계 및 제조, 시험은 일반적인 전동기, 인버터 구조와는 많이 상이하다. 특히, 어뢰 추진용으로 사용되는 전동기는 기본적으로 직경, 부피, 무게, 출력, 속도 변화, 효율, 소음 특성, EMC에 대한 제약 조건이 엄격하다. 따라서 개발된 BLDC 전동기는 이러한 모든 조건을 만족하도록 설계 제작되었고 특히 설치공간상의 제약으로 인한 경량, 고출력 설계가 이루어졌고 이를 위하여 전동기의 고속 회전 설계가 필수적이다. 따라서 일반 3상 전동기와 달리 7상 6극의 다상 구조를 선택하였다.

2.2 개발된 엔코더

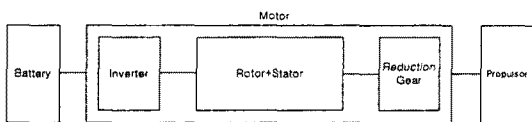


그림 1. 추진 시스템의 기본 구성

우선 7상6극의 전동기 특징은 같은 상전류에 대해 3상 전동기보다 높은 출력을 얻을 수 있어 동일 출력의 3상

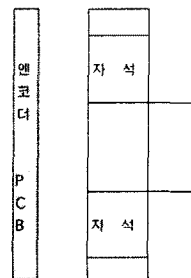


그림 3. 위치검출장치의 기계적 구조

개발된 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 회전자 위치 검출장치는 기존의 자기식 엔코더의 자기 드럼 대신에 링형 자석을 이용하여 전동기 회전자와 같은 극수를 갖는 방식을 적용하였고, 기존의 자기식 엔코더의 자기 저항 소자 대신에 홀소자를 이용하여 전동기의 고정자부와 같은 상수(Phase Number)를 갖는 방식을 적용하였다. 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 회전자 위치검출장치는 그림 3에서 보듯이 크게 두개의 그룹으로 나눌 수 있다. 그룹 1은 전동기 회전자와 같이 연결되어 회전하는 자석 그룹이 있고, 그룹 2는 전동기 브라켓에 고정되어 있는 홀센서 방식 극 위치센서용 PCB 그룹으로 나눌 수 있다. 자석 모양은 링(Ring)형이며 일체형으로 제작되어 있으며 자석에 축방향으로 회전자와 같은 6극으로 착각되어 있다. 그룹 2에는 홀센서 방식 극 위치검출용 PCB, 커넥터 등으로 나눌 수 있다. 홀센서 방식 극 위치검출용 PCB는 회전자의 위치 검출을 위한 홀센서가 7개 부착되어 있으며 홀센서로부터 받은 극 위치에 대해 신호 처리를 하여 극위치 신호를 내보내는 역할을 한다. 홀센서 방식 극 위치검출용 PCB는 자석의 위치에 따라 'H', 'L'신호로 변환하여 출력한다. 커넥터는 전동기 제어용 제어보드와 인터페이스되는 10pin 커넥터로 전동기 제어용 제어보드로부터 전원을 받아 홀센서를 활성화 시키며 출력신호가 커넥터를 통해 제어보드로 출력된다. 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 회전자 위치검출장치의 회로에 대한 기본 개념은 비접촉식 자속 센싱에 의해 자석의 N, S극의 위치에 따라 출력을 발생한다. 홀센서는 자석의 N극이 지날 때 high(+5V)가 출력되고 S극이 지날 때 0V가 출력된다. 7상 6극 브러시리스 직류전동기의 회전자 위치검출장치에 대한 블록도는 그림 4와 같다.

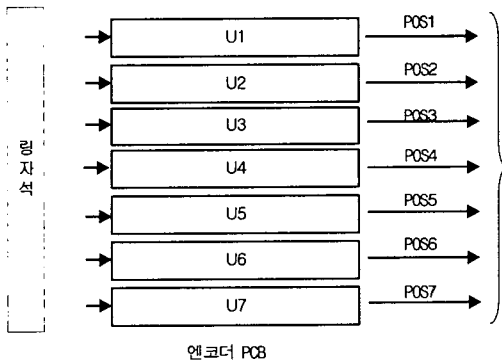


그림 4. 블록도

7상 6극 브러시리스 직류전동기 제어보드로부터 +5, 0, -15V의 전원을 받아 우선 ZD(Zener Diode)를 사용해 -5V를 만들어 +5V와 함께 7개의 홀센서(U)를 활성화시킨다. 위치검출장치내 자석이 전동기 회전자와 같이 회전하여 홀센서에 N, S가 채교하면 홀센서는 high나 low신호를 출력한다. 이 출력 신호는 다이오드와 저항을 거쳐 위치신호인 POS신호가 나오게 된다. 이 신호는 캐피탈을 통해 제어 PCB로 입력된다. 그러므로 그림 5에 서의 엔코더 신호 출력에 의한 로터의 위치는 7상 제어를 위해 필요한 14개의 IGBT 소자를 제어하기 위해서 14구간으로 나눌 수 있다. 그림 5에서 "POS1"은 1번 상에 대한 상위치 정보에 해당한다. 마찬가지로 "POS2", "POS3", "POS4", "POS5", "POS6", "POS7"은 "2번 상", "3번 상", "4번 상", "5번 상", "6번 상", "7번 상"에 대한 상위치 정보에 해당한다. 그림 5의 엔코더 신호는 간단한 로직회로를 통과하여 전류제어를 위한 7상 제어 Reference신호를 만든다.

7상 전류 전체에 대하여 로직회로를 통한 출력된 전류 Reference 신호는 그림 6과 같다. 그림 6은 각 상의 전

류파형 Reference의 최종 출력을 도시한 것으로서 각 상에서 'H'신호가 나오고 있을 때는 상단의 IGBT가 전류제어를 위해 스위칭을 하며, 하단의 IGBT는 켜진다. '0'신호가 나올 때는 Commutation구간으로 상단과 하단의 IGBT가 모두 스위칭을 하지않는다. 'L'신호가 나오고 있을 때는 상단의 IGBT는 켜고, 대신 하단의 IGBT가 전류제어를 위해 스위칭을 하게 된다.

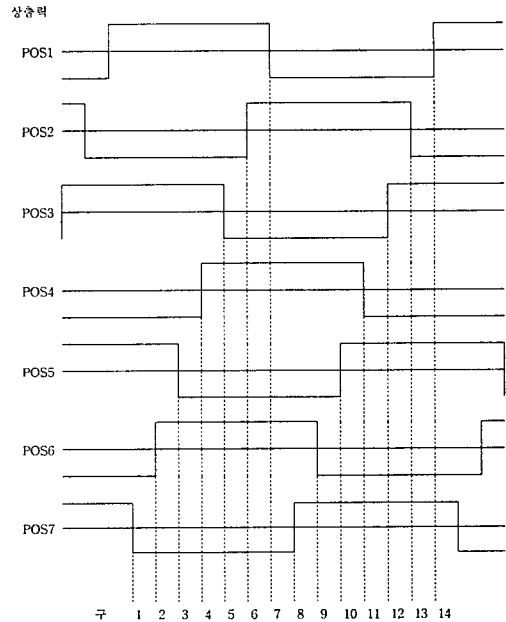


그림 5. 엔코더 신호 출력

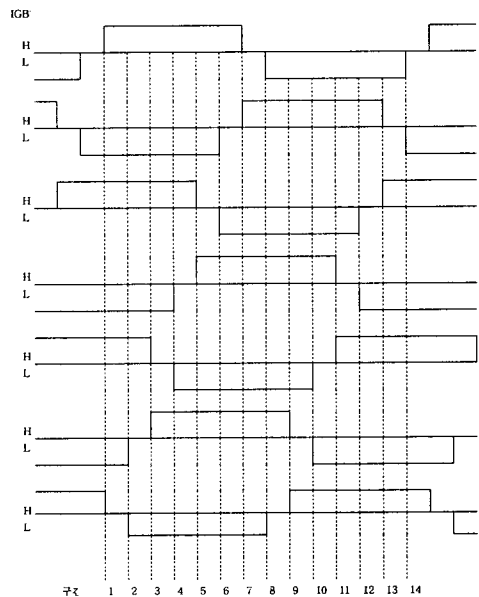


그림 6. 전류 Reference 신호

2.3 제어 블록도

유도제어부로부터 속도지령을 받게 되면, DSP는 EPLD의 정보를 읽어 속도를 MT method로 찾게 된다. 이 지

령속도에서 실제속도를 벤 값은 PI제어기로 입력되어 전류제어기의 입력지령을 만들게 된다. 이 전류지령은 제한치 설정부에서 지령속도에 가변되는 최대값으로 제한된 후 최종 전류지령으로 사용된다. 이 전류지령에 귀환되는 전류가 비교기를 통해 펄스신호로 출력되고 그 출력신호는 EPLD내부에서 IGBT 스위칭 주파수 한계에 맞는 펄스로 가공되어 GDU, IGBT로 신호가 전달되며 전동기에는 300V의 스위칭 전압이 인가된다.

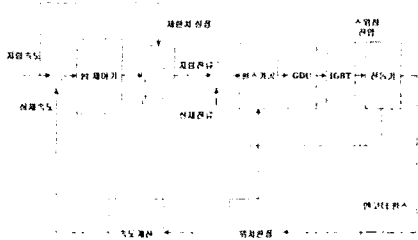


그림 7. 제어 블록도

2.4 속도제어 Sequence

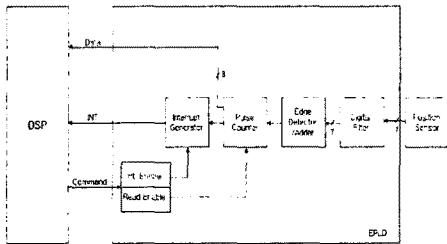


그림 8. 속도제어 개념도

그림 8은 속도제어 방법을 도시한 그림이다. DSP에서는 속도제어 주기동안 인터럽트 enable신호를 발생하고, EPLD에서는 디지털 필터를 통과한 엔코더 신호를 Edge detector를 이용하여 펄스로 만든다. EPLD는 인터럽트 enable신호 이후 첫 엔코더 펄스를 인지하면 속도제어 인터럽트를 발생하는 동시에 EPLD는 내부의 엔코더 펄스를 카운트하고 DSP는 내부 타이머를 카운트한다.

다음 주기에서 EPLD의 카운터와 DSP의 타이머 값을 저장하고 리셋하여 위의 시퀀스를 반복한다. 이렇게 읽은 값은 rpm값으로 환산하여 정확한 속도값을 계산한다.

2.3 실험 결과

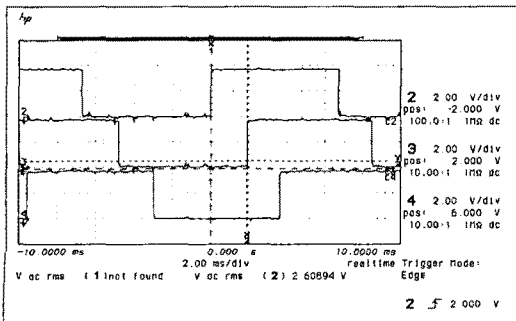


그림 9. 엔코더 출력신호(1, 6, 4상)

실험에 사용된 전동기는 개발된 7상 6극 브러시리스 직류전동기로 사양은 110[kw], 25000[rpm] 이다. 그림 9는 개발된 전용 엔코더의 1, 6, 4번째 상의 출력 신호이다. 이러한 신호들이 제어블럭을 거쳐 전력소자의 스위칭 신호 인가 순서를 결정한다.

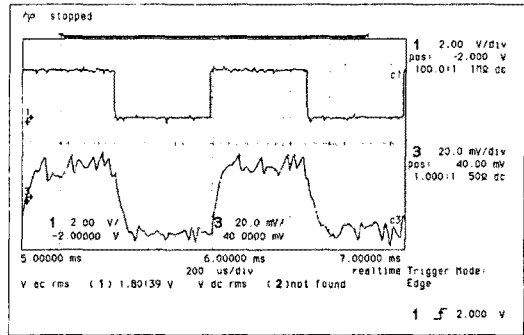


그림 10. 엔코더 출력과 상전류파형

그림10은 엔코더 신호를 전기각으로 22° leading하여 회전자 속도 20000RPM, 출력 74KW를 달성 했을 때의 엔코더 출력과 상전류 파형으로 상전류의 RMS값은 118A 이다.

3. 결 론

본 연구는 군사용으로 사용되는 고속 회전자 전동기의 회전자 자석 위치와 회전속도를 센싱하기 위한 전용 엔코더 개발에 관한 것으로 상용 엔코더를 대신하여 홀소자 방식의 엔코더를 자체 설계하여 적용하였다. 개발된 엔코더는 회전자 축 끝단에 고정된 6극인 센싱용 링자석과 1mm간격을 두고 홀소자가 붙은 고정된 엔코더 PCB로 구성되어 회전자가 회전할 때 센싱용 링자석도 같이 회전하여 홀소자가 자석의 극이 변화할 때마다 ON, OFF출력신호를 제어기로 출력하는 구조로 되어있다. 초기에는 정현파 신호 출력을 내는 홀소자를 사용해서 중폭기와 비교기가 엔코더에 내장되어 복잡하고 신뢰성이 떨어질 뿐만 아니라 고속회전시 유기되는 자기장으로 인해 일부 소자가 파손되기도 하였으나 재 설계한 후 노이즈, 신뢰성 문제가 해결되어 군사용으로 사용되는데 적합한 고신뢰성을 가지게 되었다.

[참 고 문 헌]

[1] Peter Mongeu, "High Torque/High Power Density Permanent Magnet Motors", Naval Symposium on E Machines, proceedings, July 28-31, 1997, The Hotel Newport, RI, U.S.A.
 [2] S.K.Safi, P.P.Acarnley, A.G.Jack, "Analysis and simulation of the high-speed torque performance of brushless DC motor drives"
 [3] 공영경 외 6명, "단시간 고출력 BLDC 전동기 개발", 추계학술대회 논문집, pp 43-45, 1998, 11
 [4] 공영경 외 8명, "고출력 브러시리스 직류전동기 개발", 하계학술대회 논문집, pp 394-396, 1999, 7
 [5] 공영경 외 8명, "고출력 브러시리스 직류전동기 개발 (II)", 추계학술대회 논문집 A권, pp 67-69, 1999, 11
 [6] 김현철 외 3명, "고출력 브러시리스 직류전동기 개발에 관한 연구", 전기학회 논문 49B-5-2, pp 297-304, 2000.4