

배터리형 외과수술용 핸드피스 구동 시스템

(Drive System of Battery Type Surgical Handpiece)

공태웅* · 박상훈* · 유재성* · 이병국* · 원충연*

Tae-Woong Kong · Sang-Hoon Park · Jae-Sung Yu · Byoung-Kuk Lee · Chung-Yuen Won

(Sungkyunkwan Univ. *)

Abstract

Battery type surgical handpiece is suitable for delicate surgical operating. The conventional air-type handpiece has a mechanical noise, a strong oscillation and a danger of infection. And the conventional contact switching type handpiece has problems that is restricted by surroundings. By reason of this kind, we studied noncontact switching type surgical handpiece to change conventional air type surgical handpiece and contact switching type.

1. 서론

외과 수술용 핸드피스는 시술 후 소독을 위해 스팀으로 살균을 한다. 스팀 살균은 고온에서 이루어지기 때문에 핸드피스 구동 및 제어에 필요한 기존의 접촉식 스위치들은 환경상의 제약을 받는다.

본 논문에서 홀센서와 마그네트를 이용한 비접촉식 회전형 모드 선택 스위치와 병진형 트리거 스위치를 사용하여 외과수술용 핸드피스 구동 및 제어에 필요한 정/역회전(CW/CCW), 급제동(Brake), 오실레이션(Oscillation) 및 속도가변을 위한 트리거(Trigger)동작을 구현하였다.

핸드피스 구동용 모터로는 시술 시 발생하는 위생상의 문제 및 핸드피스 규격상의 제한 등을 고려하여 마모에 의한 분진이 없고 소형화가 가능한 BLDCM (Brushless DC Motor)를 사용하였다.

2. 본론

2.1. BLDC의 전류와 역기전력, 홀센서의 파형

BLDC 모터를 구동시키기 위해서는 회전자의 위치를 파악하는 것이 중요하다. BLDC 모터는 회전자의 위치를 파악하기 위해 내부에 홀 센서가 부착되어 있고, 이 홀 센서의 신호에 의해 BLDC 모터의 회전자 위치를 검출하게 된다. 홀 센서에 의해 검출된 신호에 따라서 전기자의 권선에 전류를 흘려주면 BLDC 모터가 회전하게 된다.

그림 1은 BLDC 모터가 회전하고 있을 때 모터의 역기전력과 전기자 전류의 파형, 홀 센서의 신호 파형 그리고 모드별 스위칭 패턴을 나타낸 그림이다.

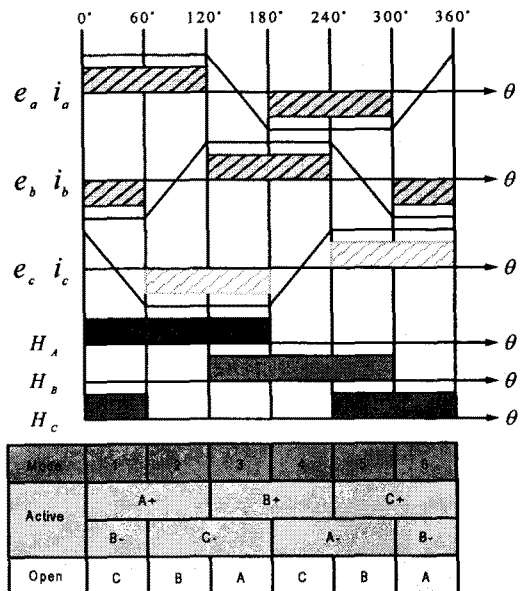


그림 1. BLDC 모터의 전류, 역기전력, 홀센서 파형 및 스위칭 패턴

2.2. 핸드피스의 전체 구성도

그림 2는 배터리 타입 외과수술용 핸드피스의 전체 블록도이다. 블록도에서 보는 것과 같이 배터리 타입 외과수술용 핸드피스는 3상 BLDC 모터와 인버터부, 제어를 위한 컨트롤부, 동작 모드 선택부, 트리거부, 배터리 잔량을 표시하기 위한 디스플레이부로 구성되어 있다.

컨트롤부에는 제어기로 UNITRODE사의 UC3625를 사용하였으며 동작 모드 선택과 트리거 동작을 위해 스위칭 타입 홀센서와 리니어 타입 홀센서를 각각 사용하였다.

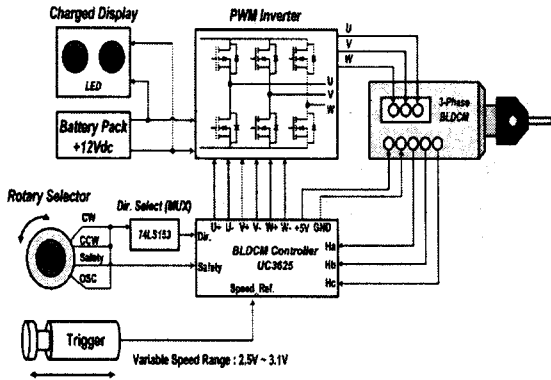


그림 2. 배터리 타입 외과수술용 핸드피스 전제 블록도

2.3. 비접촉식 모드선택 스위치 신호 처리

회전형 스위치의 출력신호가 74LS153 (1 of 4 Select/Multiplexers) 의 A, B 입력신호로 사용되고, 이에 따라 출력신호가 표 1과 같이 결정된다.

표 1. Dir_Sel과 OSC_Sel 신호에 따른 동작모드

Dir_Sel	OSC_Sel	Dir_Pin	Operation
0	0	1C0	GND : CCW
1	0	1C1	+5V : CW
0	1	1C2	OSC : Period CW/CCW

74LS153의 출력 신호는 BLDC 제어기인 UC3625의 Dir. Pin의 입력으로 사용되어 High(CCW), Low(CW) 신호 및 주기적인 High와 Low 신호(OSC)를 발생하여 정회전, 역회전, 그리고 반복적인 정/역회전 모드로 동작하게 된다.

UC3625의 Dir. Pin의 입력으로 Low 신호가 입력되면 BLDC 모터는 정회전을 하게 되고, High 신호가 입력되면 역회전을 하게 된다. 또한, 주기적인 High, Low신호가 입력되면 오실레이션 동작을 하게 된다. 하지만 전동기의 시정수에 따라 오실레이션 동작 제한 주파수를 고려하여 원하는 오실레이션 동작을 수행할 수 있도록 회로를 설계하여야 한다.

2.4. 트리거 스위치

트리거 스위치는 배터리 타입 외과수술용 핸드피스에 사용되는 BLDC 모터의 속도제어를 위해 2.5V에서 3.1V 사이의 전압신호를 출력으로 내보내는 스위치이다.

스위치의 출력전압신호는 마그네트가 부착된 레버를 조정함에 따라 자속의 세기에 비례하는 전압신호를 출력한다.

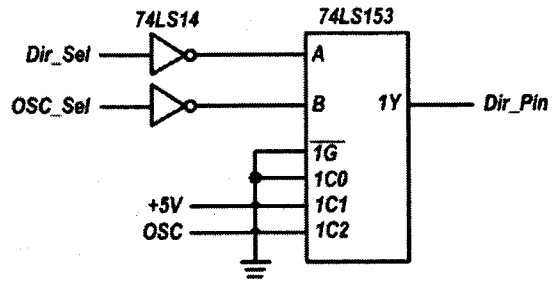


그림 3. 74LS153을 이용한 동작모드 선택회로
Variable Speed Range : 2.5V ~ 3.1V

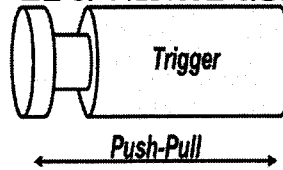


그림 4. 속도기변을 위한 트리거 스위치

그림 4의 트리거 스위치는 수평방향으로 조정되어 레버를 밀거나 당겼을 때 자속 세기에 따라서 변화하는 전압신호를 출력한다. 출력된 전압신호를 입력으로 그림 5와 같은 전압분배기를 거쳐 출력전압이 2.5V에서 3.1V로 출력되게 하는 회로를 설계 하였다.

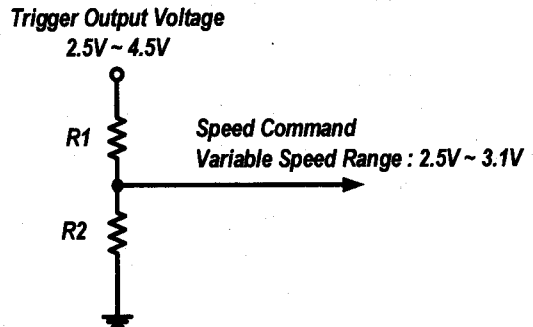


그림 5. 제어기 속도지령 정격을 위한 트리거 출력전압 분배기

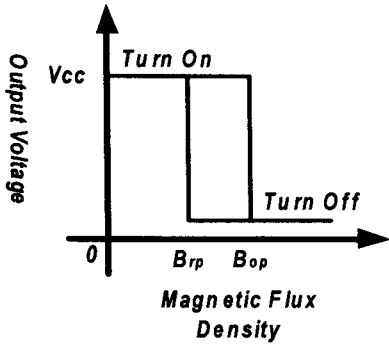
2.5. 동작 모드 선택과 트리거 동작을 위한 홀센서 선정

동작 모드 선택을 위한 스위치용 홀센서는 일정량의 자속이 검출되면 신호가 출력되는 타입을 선택해야 한다.

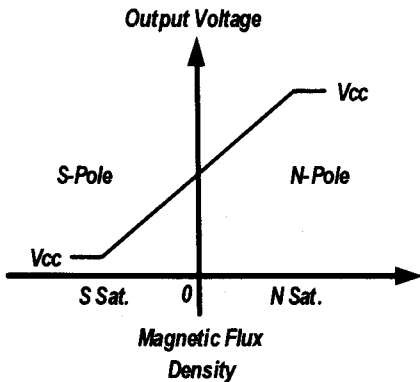
일정량 이상의 자속이 검출되지 않으면 High 또는 Low상태를 유지하다가 일정량 이상의 자속이 검출되면 초기 신호 상태에서 반전된 Low 또는 High의 신호를 출력한다.

트리거 동작을 위한 스위치용 홀 센서는 동작 모드 선택을 위한 홀센서와는 다르게 자속의 세기가 변함에 따라 출력신호가 선형적으로 변하는 타입을 선택해야 한다. 일반적으로 리니어 타입 홀센서가 자속 세기에

비례하는 전압신호를 출력한다.



(a) 스위칭 타입 홀 센서의 출력 신호



(b) 리니어 타입 홀 센서의 출력 신호

그림 6. 스위칭 타입, 리니어 타입 홀 센서의 출력 신호

3. 시뮬레이션

본 논문에서 시뮬레이션의 목적은 스위치 타입 홀센서를 사용하여 비접촉식 스위치방식으로 설계한 BLDC 모터가 모드별로 정확히 동작하는지를 알아보는 것이다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 구현하기 위하여 PSIM 프로그램을 사용하였다.

그림 7은 핸드피스에 사용된 3상 BLDC 모터의 내부에 부착된 홀센서신호의 시뮬레이션 결과파형이다.

그림 8은 핸드피스용 BLDC 모터가 10000rpm으로 구동되고 있을 때 각 상의 전류를 시뮬레이션한 결과 파형이다.

그림 9는 회전형 모드선택 스위치를 변경하였을 때 DIR 출력에 대한 시뮬레이션 결과 파형이다.

그림 10은 3상 BLDC 모터를 10000rpm으로 구동하기

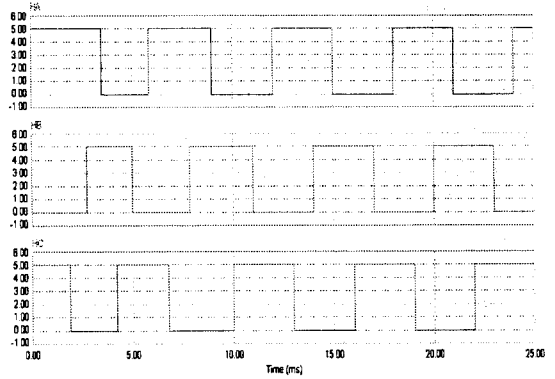


그림 7. 3상 BLDCM의 홀센서 신호파형 @10000rpm

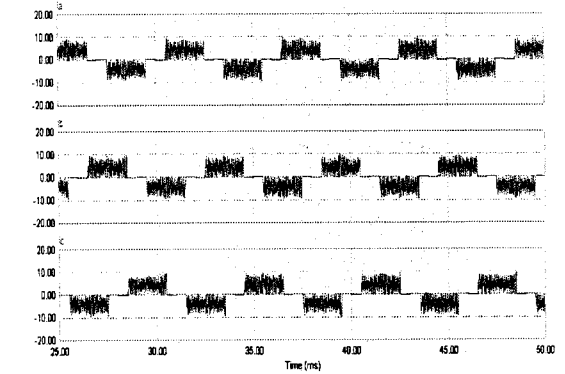


그림 8. BLDC 모터의 각 상전류 파형 @10000rpm

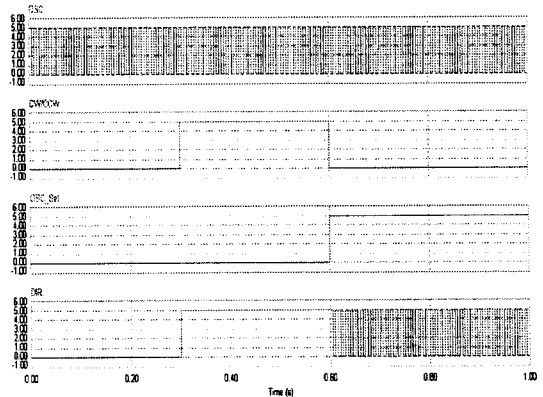


그림 9. 모드선택에 따른 DIR, 출력파형

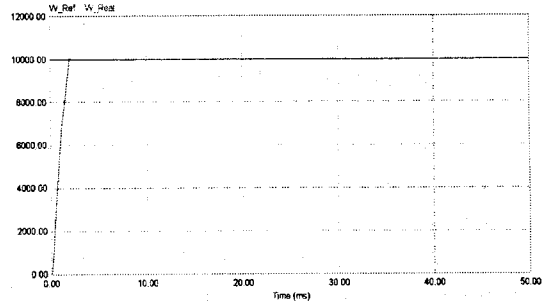


그림 10. 속도지령 및 실제 속도응답 파형 @10000rpm 위한 속도지령과 지령에 따른 실제 속도응답 파형이다.

4. 실험결과

그림 11은 배터리형 외과수술용 핸드피스의 구동을 위한 실험 세트이다.

상단 PCB는 컨트롤보드 부분이고 BLDC 모터 제어를 위한 UC3625 IC, 배터리 잔량을 표시해줄 수 있는 회로 그리고 오실레이션 작동을 할 수 있는 회로 등이 구성 되어 있다.

하단 PCB는 BLDC 모터를 구동하기위한 인버터 회로 부분이다.

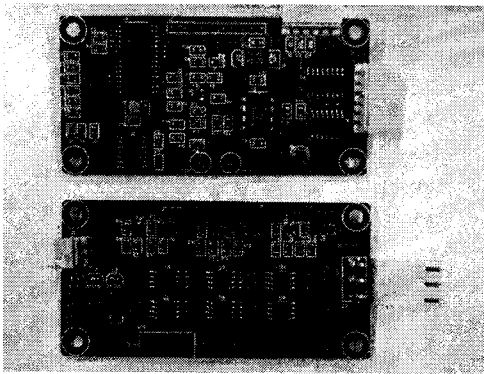


그림 11. 배터리형 외과수술용 핸드피스 실험세트

그림 12는 핸드피스 실험용세트를 이용하여 BLDC 모터 구동시 내부에 부착된 홀센서를 측정한 파형이다.

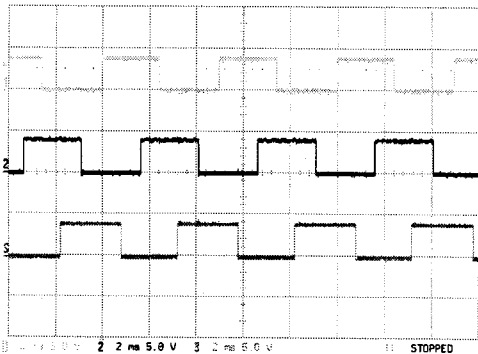


그림 12. 실제 홀센서 신호파형 (Ha, Hb, Hc)

그림 13은 핸드피스에서 오실레이션 모드 선택시 주기적인 정회전과 역회전을 반복하는 기능을 보여주는 실험 파형이다.

외과 수술용으로 핸드피스를 사용시에 처음에 시술 부위의 정확한 위치를 잡기 위해서는 큰 토크를 가지면서도 일정한 주기를 갖는 정/역회전의 반복이 필요한데 이 기능을 구현한 것이 오실레이션 기능이다.

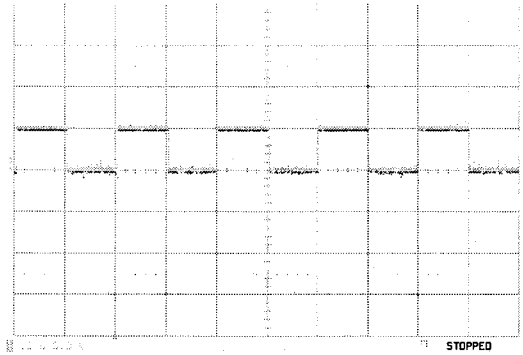


그림 13. 오실레이션 동작에 따른 정/역회전 출력신호

그림 14는 BLDC 모터의 구동시에 각 상의 상전류 파형을 측정한 결과파형이다.

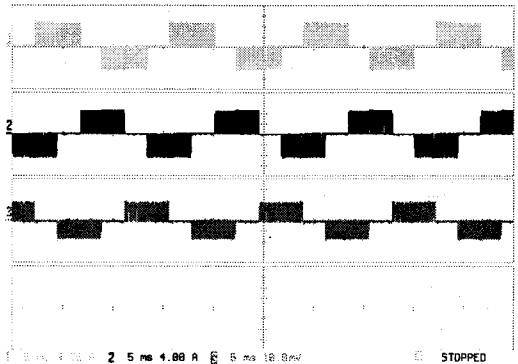


그림 14. 3상 BLDC 모터의 각 상전류 파형 (a, b, c)

그림 15는 속도 가변을 위한 트리거를 사용하여 속도 지령을 서서히 증가시켰을 때 정지상태에서 지령속도에 다다른 속도응답에 대한 실험파형이다.

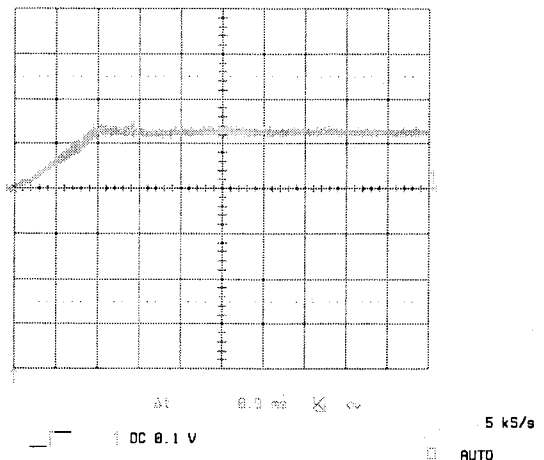


그림 15. BLDC 모터의 속도응답파형

5. 결론

본 논문에서는 위생상의 문제점과 규격의 제한을 갖는 핸드피스를 마모에 의한 분진이 없고, 소형화가 가능한 BLDC 모터를 사용하여 구현하였다. 또한, 사용 환경의 제약(소독 시 뜨거운 스팀을 사용)으로 인해 적용하기 어려웠던 접촉식 스위치 방식의 핸드피스를 홀센서를 사용하여 비접촉식 스위치 방식이 가능하도록 구현하였다.

회전형 모드선택 스위치는 마그네트와 스위치 타입 홀센서를 사용해서 정회전과 역회전, 급제동, 주기적인 발전을 위한 오실레이션 4가지 모드의 선택이 가능하도록 설계하였다. 또한, 리니어 타입 홀센서를 사용한 비접촉식 트리거 스위치를 이용하여 속도 조절이 가능하도록 하였다.

참고 문헌

- [1] 아이메디컴(주), "외과수술용 핸드피스 선행기술조사서", 아이메디컴(주) 부설 의용생체공학 연구소, 2005. 11
- [2] 문태수, 구춘근, 김문옥, "디지털 논리회로 설계 디지털 공학", 일진사, 2000. 08
- [3] M. Morris Mano, "Digital Logic and Computer Design", Prentice-Hall, 1998. 02
- [4] TJE Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press. Oxford, 1994.
- [5] Takashi Kenjop, D. Eng, "Permanent Magnet and Brushless DC Motor", Sogo Electronics Publishing Company, 1984
- [6] Duane Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design", The Writers' Collective, 2003
- [7] Ting-yu Chang, Ching-Tsai Pan, Jenn-Hong Liaw and Shinn-Ming Sue, "A Hall Sensor based IPM Traction Motor Drive", IEEE Trans. on Ind. Application, pp.840-843. 2002
- [8] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits", Prentice Hall, 2001
- [9] Ned Mohan, Tore M. Underland, William P. Robbins, "Power Electronics", JOHN WILEY & SONS, INC. 2003