

배터리형 외과수술용 핸드피스 브러시리스 직류 전동기 구동 드라이브

유재성, 박종찬
오산대학

Battery Type Surgical Handpiece Using Brushless DC Motor Drive

Yu jae-sung, Park jong-chan,
Osan college

Abstract - 외과수술용 핸드피스는 현재 국내·외 병원에서 사용되고 있는 수술 장비 중 필수 보유 장비이다. 선진 수술 기법인 인공관절 대체 수술 시 뼈(Bone)절단, 다듬질, 구멍 등, 초 섬세 가공을 목적으로 하는 기기이다. 기존의 공압식(Air Type)은 수술 시 많은 양의 질소(N₂ Gas)가 소모됨으로써 질소탱크 보관에 많은 공간이 필요하고 잦은 교체를 필요로 한다. 또한 기계소음과 공압식 호스의 이동으로 시술자와 환자사이에 불편함이 발생하고 감염의 위험성이 있으므로 최근에는 충전식을 선호하고 있다. 이러한 이유로 기존의 공압식을 대체할 배터리형 외과수술용 핸드피스를 연구하게 되었다.

1. 서 론

기존의 공압식(Air Type)은 소음 및 진동이 크고 그 구조상 문제로 인해 수술하는 의사와 환자에게 위생과 안전상의 문제점을 갖고 있다. 그래서 본 연구의 중점은 이러한 문제점을 갖고 있는 기존의 핸드피스를 대체할 외과수술용 Battery Type Surgical Handpiece의 개발에 있다. 이에 따라 핸드피스 구동용 BLDC 전동기의 제어 회로를 설계하고 배터리를 전원장치로 하는 인버터회로를 해석 및 설계하였다.

본 연구에서는 전동기 구동 시 저소음 및 토크 맥동의 최소화를 위한 알고리즘을 구현하고 핸드피스에 필요한 각각의 기능들을 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 구현하였다.

2. 본 론

2.1 BLDC 전동기의 역기전력과 전류 및 Hall-IC파형

브러시리스 직류 전동기는 내부에 있는 위치 검출용 홀센서(Hall Sensor)를 이용하여 회전자의 위치를 검출하고 검출된 신호에 따라 전기자 권선에 전류를 순차적으로 흘려주게 된다.

즉, 그림 1과 같이 브러시리스 직류 전동기가 회전하기 위해서는 각 상의 역기전력이 전기적으로 반주기 120도마다 일정한 평탄 구간을 갖는데 이 구간에 구형파 전류를 흘려주면 되는 것이다.

그림 1은 브러시리스 직류전동기의 역기전력과 전류파형 및 홀센서 신호를 나타낸 그림이다.

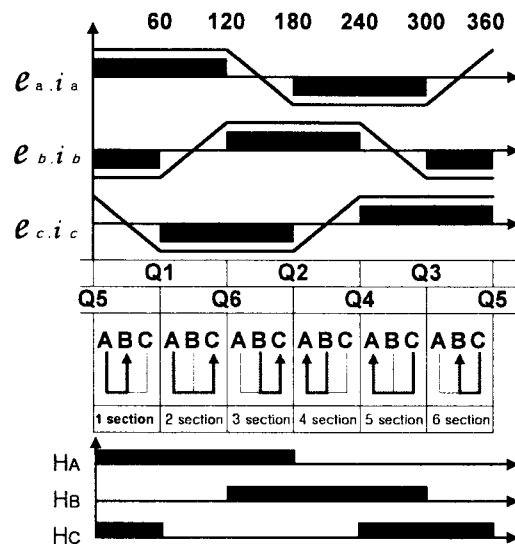


그림 1. 브러시리스 직류전동기의 역기전력과 상전류 및 Hall-IC 파형

2.2 핸드피스 구동용 드라이브 구성도

배터리형 외과수술용 핸드피스의 제어기로는 UNITRODE의 UC3625 Controller를 사용하여 구성하였다. UC3625 컨트롤러는 브러시리스 직류전동기 내부의 홀센서 신호를 입력받아 파워부(Power-Stage)의 게이트 신호를 만들어 낸다. 또한 핸드피스 구현 시 필요한 정·역회전과 가변속 제어가 가능하면 Break Port를 이용한 안정적인 모터 제동을 구현할 수 있다.

2.3 배터리형 핸드피스의 기능

그림 3은 배터리형 외과수술용 핸드피스의 외관을 나타낸 그림이다. 기존의 공압식(Air Type)과는 다르게 핸드피스 바디(Body)와 배터리가 일체형으로 구성되어 있어 공간적 제한이 없다. 기존의 타입은 질소 탱크와 노즐의 구성으로 시술 공간의 부담과 시술자의 불편이 야기되었으나 제안한 핸드피스는 이러한 제한 조건들을 극복할 수 있는 구조로 되어있다.

표 1에서는 그림 3의 각 명칭과 기능들을 정리하였다.

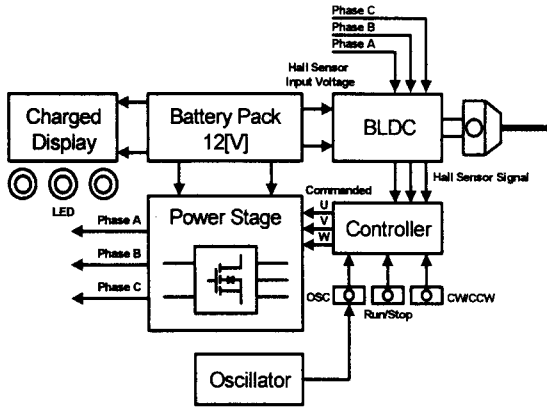


그림 2. 핸드피스 구동용 드라이브 시스템 블록도

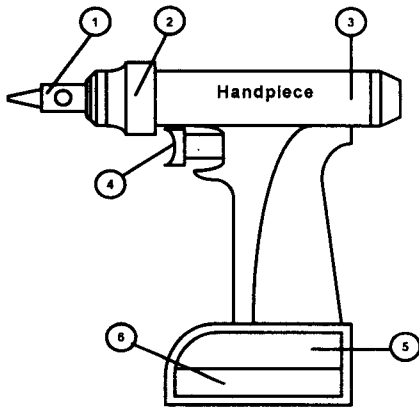


그림 3. 배터리형 외과수술용 핸드피스 외형

표 1. 핸드피스 각각의 명칭과 기능

명칭	기능
1. Attach Instrument Part	시술에 따른 부속 장비를 교체하기 위한 부분이다.
2. Gear Box	1의 헤더에 보다 큰 토크를 내기 위한 기어박스이다.
3. Body (BLDC Motor)	몸체로서 내부에 구동 모터로 BLDC 모터가 내장되어 있다.
4. Trigger & Direction	속도가변을 하는 트리거 기능과 정·역 회전을 위한 Direction 스위치가 구성되어 있다.
5. Control PCB	각 스위치 입력에 따른 모터 동작을 위한 제어기 및 BLDC 모터를 구동하기 위한 인버터가 구성되어 있는 보드가 들어있는 부분이다.
6. Battery Pack	핸드피스의 전원 공급원으로서 12[V]의 메탈-수소 배터리를 사용한다.

3. 시뮬레이션

본 시뮬레이션의 목적은 DC 12[V] 전원을 사용하여 시스템이 정격사양대로 구동되는지를 알아보는 것으로 표 2의 사양을 갖는 BLDC 전동기를 사용하였다.

표 2. 사용된 BLDC Motor의 주요 파라미터

Parameters	Value	Unit
1. Input Voltage	12	V
2. Power	80	W
3. Rated rpm	12,000	rpm
4. Resistance	0.1550	Ω
5. Self Inductance	0.0147	mH
6. Mutual Inductance	0.0050	mH
7. No. Poles	2	Poles

그림 4는 표 2의 파라미터를 적용한 BLDC 모터를 사용하여 시뮬레이션한 각 상의 홀센서 신호 결과 파형이다.

그림 5는 각 상전류 파형으로 BLDC 모터를 12000[rpm]으로 구동 시킬 때의 시뮬레이션 결과 파형이다.

그림 6은 속도 응답파형으로 속도 추종이 잘되고 있음을 시뮬레이션 결과 파형을 통해 알 수 있다.

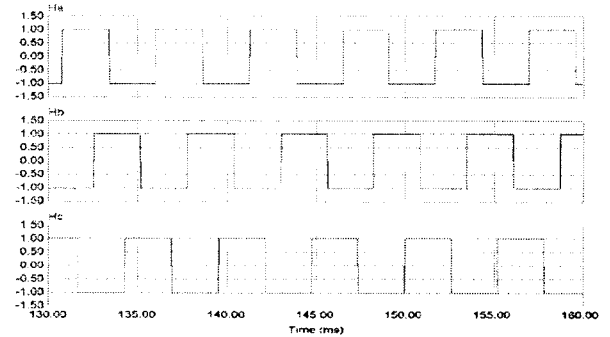


그림 4. 홀센서 신호 파형 (Ha, Hb, Hc)

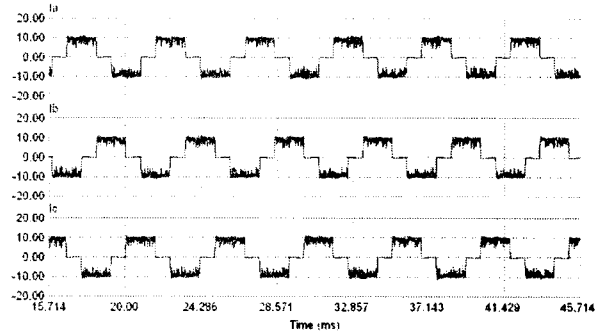


그림 5. 각 상의 전류 파형 (Ha, Hb, Hc)

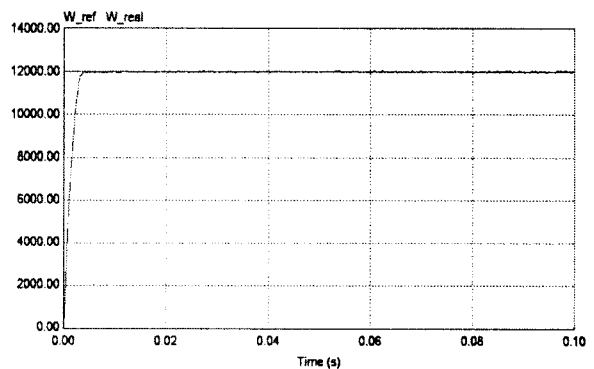


그림 6. 속도응답파형

4. 실험결과

그림 7은 핸드피스의 각 기능들을 구현한 배터리형 외과 수술용 핸드피스 구동 드라이브 실험 세트이다.

상층 PCB에는 인버터가 설계되어있다. 하층 PCB에는 BLDC 제어용 컨트롤러인 UC3625와 배터리 잔량을 표시하기 위한 LED가 구성되어있으며 일정한 정·역 회전을 하기위한 Oscillation이 설계되어있다. 두 개의 PCB에 들어가는 소자들은 핸드피스의 크기를 고려하여 SMD 타입의 소자들로 구성되어져있다.

그림 우측의 모터는 표 2의 파라미터를 적용한 핸드피스용 BLDC 모터이다.

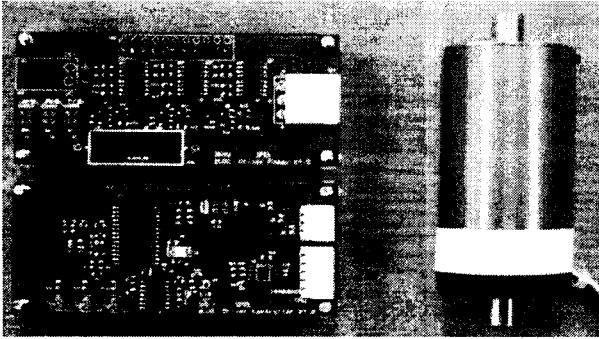


그림 8. 배터리형 외과수술용 핸드피스 실험용 세트

그림 9는 핸드피스 실험용 세트를 이용한 결과 파형으로 모터 속도가 12,000[rpm]으로 운전 시 각 상의 홀센서 신호를 나타낸 파형이다. 그림 10은 Oscillation 기능을 나타낸 결과 파형이다. 핸드피스를 이용한 초기 시술시 시술 부위의 정확한 위치를 잡기위해 큰 토크를 갖고 일정한 정·역 회전이 필요한데 이 기능을 구현한 것이다. 정·역 회전의 비율은 1:1로 Oscillation 기능을 유지하는 동안에는 Duty=0.5로 반복 동작하게 된다. 그림 11은 각 상전류 실험결과 파형이다. 각각 120도의 위상차를 갖고 매 구간마다 2상씩 여자(勵磁)되는 것을 실험파형을 통해 알 수 있다.

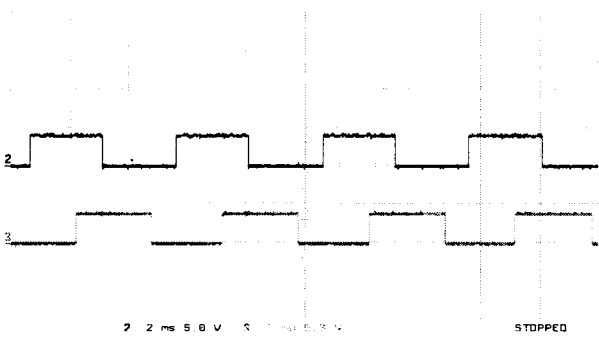


그림 9. 각 상의 홀센서 신호 (5V/Div, 2ms/Div)

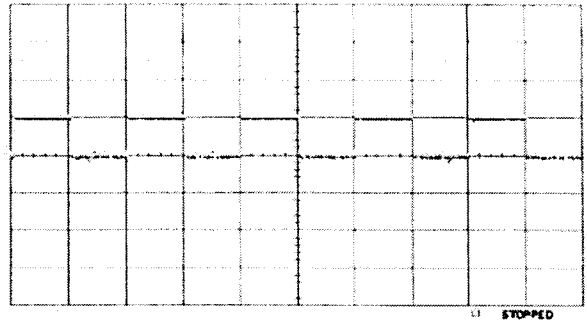


그림 10. Oscillator에 의한 정·역 회전 신호 (0.2s/Div)

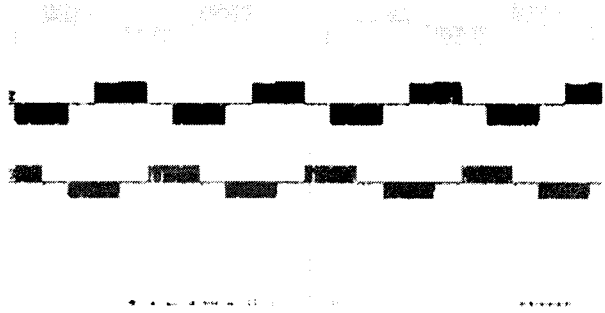


그림 11. 각 상전류 파형 (4A/Div, 5ms/Div)

5. 결 론

본 논문에서는 홀센서 신호를 이용하여 회전자의 위치를 판별함과 동시에 트리거 기능을 이용하여 속도 가변이 가능한 시스템을 개발하였다. 또한 핸드피스 초기 시술시 필요한 반복적인 정·역 회전이 가능한 Oscillation 기능을 구현하였고, 배터리 방전으로 인한 사용 시 잔량을 표시해 줄 잔량표시기를 부가적으로 구성하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] TJE Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [2] Takashi Kenjop, D. Eng "Permanent Magnet and Brushless DC Motor", Sogo Electronics Publishing Company, 1984
- [3] Duane Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design", The Writers' Collective, 2003
- [4] Ting-yu Chang, Ching-Tsai Pan, Jenn-Horng Liaw and Shinn-Ming Sue, "A Hall Sensor based IPM Traction Motor Drive", IEEE Trans. on Ind. Application, pp.840-843. 2002
- [5] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits", Prentice Hall, 2001
- [6] Ned Mohan, Tore M. Underland, William P. Robbins "Power Electronics", JOHN WILEY & SONS, INC., 2003