

핸드피스용 고속 BLDC 마이크로 모터의 센서리스 구동

주학림¹, 박무용², 목형수*
건국대학교¹, 오스템임플란트², 건국대학교*

Sensorless control for high speed BLDC micromotor of handpiece

Helin Zhu¹, Park Muyong², HyungSoo Mok*
KONKUK University¹, Osstem Implant², KONKUK University*

ABSTRACT

Brushless DC(BLDC) 모터는 브러시가 없어 고속 회전에 유리하기 때문에 핸드피스 모터에 많이 적용하는 추세이다. 핸드피스 모터는 부피가 작을수록 유리하여 홀 센서를 장착하지 않은 경우가 많기 때문에 센서리스 제어를 하여야 한다. BLDC 모터의 상 역 기전력 zero crossing 감지 방법을 이용한 센서리스 제어를 할 시 40,000rpm에 달하는 고속 회전에서 상 전압 floating 구간이 $250\mu s$ 밖에 안되기 때문에 샘플링이 부족하고 스위칭 노이즈도 강해 zero crossing에 대한 감지가 어려울 수 있다. 이 논문에서는 역 기전력에 대한 비선형 필터인 majority function을 응용함으로써 모터 상 역기전력의 zero crossing을 감지해내고 고속 BLDC 모터 센서리스 제어를 하는 방법을 소개한다.

1. 서론

핸드피스 모터는 치과 및 수술 등 의료기기 분야에서 많이 사용한다. 핸드피스 모터의 특성상 고속 회전이 필요하기 때문에 DC 모터보다는 브러시가 없고 유지보수 측면에서 유리한 BLDC 모터를 많이 사용한다. 손에 잡힐 만큼 작고 손에 들고 시술 등 작업을 진행해야 하기 때문에 무게와 공간상에 제약이 많아 BLDC 모터 구동에 필요한 홀 센서를 장착할 수 없을 경우가 많다. BLDC 모터 구동에서 회전자의 위치를 알아야만 여자 할 상을 결정하여 전압을 인가할 수 있기 때문에 회전자 위치 센서인 홀 센서가 없는 상황에서는 위치 센서리스 제어를 해야 한다. BLDC의 위치 센서리스 제어에는 여러 가지 방법이 있지만 그중 가장 많이 사용되는 방법은 역기전력 신호를 이용한 위치 감지 방법이다 [1][2].

3상 BLDC 모터는 항상 구동 중 항상 그 중 2상만 여자되고 나머지 1상이 floating 상태에 있게 되는데 이를 이용하여 모터의 역기전력을 값을 읽을 수 있다. 이 하지만 모터의 회전 속도가 빠르면 제어가 모터 회전 시 전기각 360° 내에서의 데이터 수집 개수가 줄어들게 된다. 고속 제어를 위한 여자 상의 고속 PWM 스위칭 노이즈가 회로 기판을 통해 floating 상에 반영되어 모터 역기전력 zero crossing 감지에 영향을 주게 된다. 이러한 영향을 없애기 위해 역기전력 검출에 저역 통과 필터를 사용하게 되는데 이는 zero crossing 감지가 실제 zero crossing 보다 지연되도록 하는데 지연 시간이 전기각 30° 를

초과하면 이러한 센서리스 제어방법을 사용할 수 없다. 특히 고속 BLDC 모터는 회전시 속도가 빨라 전기각 30° 에 해당하는 시간이 짧아 저역 필터를 사용하기 어려울 수 있다.

본 논문에서는 Majority function을 비선형 필터로 사용하여 역기전력의 zero crossing을 감지하는 사용하여 성공적으로 노이즈가 섞인 역기전력 파형에서 zero crossing을 감지하는데 성공하였으며 이를 이용하여 고속 BLDC 모터 센서리스 제어를 실행하였다[3]. 그림 1을 일반 BLDC 모터 센서리스 제어의 원리를 나타낸다.

2. Majority function을 이용한 역 기전력 zero crossing 감지 센서리스 제어

모터 상 역기전력의 zero crossing을 감지한뒤 다음 zero crossing 발생과의 간격 시간을 타이머로 계산한다. 이를 이용하여 현재 모터의 회전속도를 계산하고 전기각 30° 회전에 필요한 시간 T delay를 계산한다. 다음 zero crossing 이 발생 할 시 이 시간만큼 지연을 준 후 상전환을 실시한다. 이렇게 반복적으로 제어하면 위치 홀 센서를 장착했을때처럼 모터 구동이 가능하다.

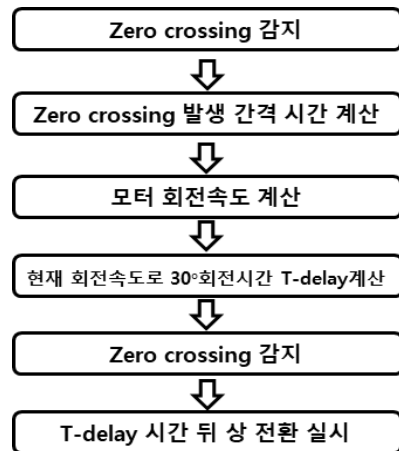


그림 1 BLDC 모터 역기전력 신호를 이용한 센서리스 제어 원리

실제 제어에서는 zero crossing 발생후 상전환을 위해 기다리는 시간 T_{delay} 에서 zero crossing의 정확한 감지를 위한 필터의 지연 T_{filter} 만큼 빼주어야 한다. 고속 제어

에 의한 PWM 스위칭 때문에 노이즈가 크고 모터의 회전속도가 빠를 때 T_{filter} 가 T_{delay} 보다 크게 되면 센서리스 제어가 어렵다. 이때 T_{filter} 가 훨씬 작고 zero crossing 감지가 정확한 majority function filter를 사용하면 고속 BLDC 모터 센서리스 구동이 쉬워진다.

표 1은 majority function 진리표이다. majority function은 한 논리 집합에서 순서와 관계없이 수가 가장 많은 논리를 출력한다. 예를 들어 한 논리 집합 {0, 0, 1}에서 논리 0이 1보다 많기 때문에 출력은 0을 내보내고 논리 집합 {0, 1, 1}에서는 1이 0보다 많기 때문에 1을 출력한다.

표 1 majority function 진리표

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

만약 1을 zero crossing 발생, 0을 zero crossing 발생하지 않음으로 정의하면 제어기의 ADC 모듈은 역기전력 값을 읽어 논리회로를 통해 zero crossing이 발생했는지 여부를 판단하는 0과 1의 조합을 출력 할 수 있다. 그림 2는 majority function filter를 사용하기 위해 zero crossing 발생 여부를 0과 1로 판단하는 논리회로이다.

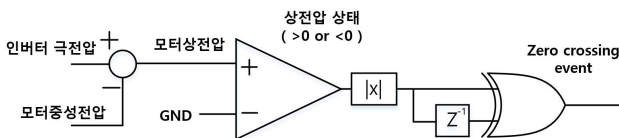


그림 2 역기전력 zero crossing 발생 판단 논리

매번 ADC 모듈이 역기전력 신호를 읽을 때 발생하는 zero crossing event 신호는 노이즈가 없는 상태에서는 모터가 전기각 360° 회전 할 시 6번의 1을 출력하고 나머지 상태에서는 0을 출력하여야 한다. 이는 모터가 전기각 360° 회전 시 6번의 상 전환이 발생하기 때문이다. 즉 상 역기전력 전압이 zero crossing 하는 순간만 1을 출력한다. 하지만 타 상 스위칭 노이즈로 인해 zero crossing 근처에서 여러번의 1 과 0을 교체하는 출력이 나올 수 있다. 이때 표 1에서의 majority function을 이용하여 이러한 1과 0의 논리 집합에서 진정한 zero crossing 순간을 포착한다.

3. 실험 및 결과분석

BLDC 모터 센서리스 제어를 하기 위해 역기전력 신호가 필요하지만 정지상태에서 역기전력 신호가 없기 때문에 초기 회전자 정렬, 초기 강제 구동을 실시하여 고속 BLDC 모터가

8000rpm에 가까울 때 본 논문에서 제안한 방법으로 센서리스 구동을 하였다. 그림 3은 핸드피스용 BLDC 모터가 40,000 rpm에서의 센서리스 제어 인버터 극전압 파형을 나타낸다. 그림에서 모터의 역기전력이 zero crossing 구간에서 심한 노이즈가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 노이즈 상황에서도 majority function을 사용하여 zero crossing을 감지하여 센서리스 제어를 수행하였다.

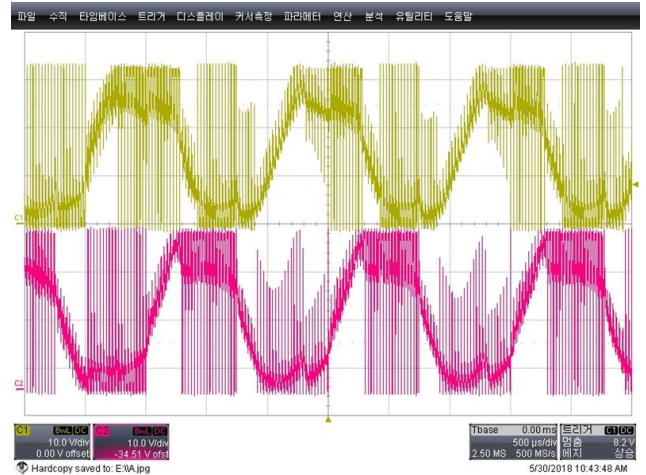


그림 3 40,000 rpm 고속 BLDC 센서리스 제어시 모터 A, B상 극 전압 파형

4. 결론

본 논문에서는 고속 BLDC 모터 센서리스 제어를 하기 위한 역기전력 zero crossing 방법을 분석하였고 실제 제어에서의 zero crossing 감지의 기술적 난이도에 분석하였다. majority function을 이용하여 노이즈가 섞인 역기전력 파형에서 zero crossing을 감지하는 방법을 사용하여 실험을 통해 검증하였다.

이 논문은 오스텀인플란트의 연구비 지원에 의하여 연구되었고 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다. (No.20174030201660)

참고 문헌

- [1] Iizuka, K., Uzuhashi, H., Kano, M., et al. "Microcomputer control for sensorless brushless motor". IEEE Transactions on Industry Applications, IA 21, 595-601.
- [2] Wenzhuo Li, Jiancheng Fang, Haitao Li, Jiqiang Tang "Position Sensorless Control Without Phase Shifter for High Speed BLDC Motors With Low Inductance and Nonideal Back EMF". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 31, No. 2, pp. 1354-1366, 2015, March
- [3] Daniel Torres "Sensorless BLDC Motor Control with Back EMF Filtering Using a Majority Function" Microchips. 2011