

상용 교류 전원을 이용한 BLDC 모터의 센서리스 구동에 관한 연구

김성태*, 홍선기*, 강태삼**

*호서대학교 정보제어공학과, **건국대학교 항공우주공학과

A study on sensorless driving for a BLDC motor using a common AC source

Seong-tae Kim*, Sun-ki Hong*, Taesam Kang**

*Department of Information and Control Engineering, Hoseo University

**Department of Aerospace Engineering, Konkuk University

Abstract - 본 논문에서는 널리 사용되고 있는 BLDC 모터의 센서리스 구동에 관한 연구를 수행한다. 이 시스템은 크게 모터 구동회로와 역기전력 측정 회로, 마이크로 컴퓨터회로로 구성된다. 모터 구동회로는 상용 전원을 별도의 변압기 없이 그대로 이용하여 모터에 전원을 인가하며, 역기전력 측정 회로는 센서리스 구동에 반드시 필요한 회전자 위치 검출을 하게 되며, 이를 위하여 센서 대신 회전자 위치 검출 역할을 하는 능동 필터를 설계하도록 한다. 마이크로 컴퓨터는 필터로부터 얻어진 회전자 위치 신호를 이용하여 모터 구동을 위한 PWM을 발생시키며, 전체적인 시스템 구동을 하게 된다.

1. 개 요

직류 모터는 교류 모터에 비하여 제어가 간단하면서도 저속에서 고속에 이르기까지 우수한 제어성을 발휘하며 저가로 제어가 제작이 가능하다. 따라서 수W급부터 수백KW급에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 직류 모터는 주기적으로 브러시를 교체해 주어야 하는 번거로움이 있으며, 이는 직류 모터가 많은 장점을 가졌음에도 불구하고 기피되는 요인이 되고 있다[1].

직류 모터의 장점을 갖추면서도 유지 보수가 필요 없는 모터가 바로 Brushless DC(BLDC) 모터이다. 즉, BLDC 모터는 브러시의 역할을 홀 센서와 스위칭 트랜지스터로 대체한 것이며, 따라서 기계적인 접촉이 있는 브러시가 필요 없다. 이러한 BLDC 모터는 직류 모터의 장점을 그대로 가지고 있으면서 브러시가 없기 때문에 소형화가 가능하고 철손이 없어 그 수요가 증가되고 있다. 그러나 BLDC 모터를 구동하는데 필수적인 센서는 외부 환경-특히 온도의 영향을 많이 받는다는 단점이 있다. 이러한 것은 BLDC 모터의 사용 환경이 다양해짐에 따라 많은 문제점을 야기하게 된다.

이 BLDC 모터는 역기전력이 사다리꼴 형태를 취하고 있다. 따라서 이 모터는 구형파 형태의 교류 전류를 인가함으로써 손쉽게 토크를 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 속도 변화를 요하는 기기에서 이 BLDC 모터는 단지 전압을 조정함으로써 쉽게 속도를 바꿀 수 있고, 높은 효율을 가지고 있다[2].

본 연구에서는 이러한 BLDC 모터의 장점을 살리고 다양한 사용 환경에서 사용할 수 있도록 센서를 사용하지 않고 역기전력으로 회전자의 위치를 결정하는 센서리스 구동에 관한 것과, 별도의 직류 전원을 이용하지 않고 일반적으로 사용하는 교류 220V를 정류한 후 바로 얻어지는 직류 280V 전원을 이용하여 BLDC 모터를 구동할 수 있게 하는 회로를 연구하였다.

2. 구동 회로의 구성

BLDC 모터의 구동 회로는 크게 PWM 신호 발생부와 모터 구동부, 그리고 역기전력 회로로부터 회전자 위치를 검출하는 위치 검출부로 구성된다. 위치 검출부로부터 검출된 신호를 이용하여 PWM 신호를 발생시키며 모터 구동부에서 280V 전원을 이용하여 모터를 구동시키는 전원을 공급한다.

2.1 PWM 신호 발생부

PWM 신호 발생 회로는 그림1과 같다. 모터의 역기전력을 이용해 얻은 회전자 위치 검출 신호(Switching Signal)와 33033 내부 신호를 이용하여 실제 하단 구동 FET에 가해지는 신호(Lower Driving Signal)를 만들게 된다. 즉, 스위칭 신호와 PWM 신호를 논리적으로 곱함으로써 원하는 신호를 얻을 수 있다.

또한 5K 가변저항을 조정하여 PWM의 duty rate를 조절함으로써 원하는 속도를 얻을 수 있다.

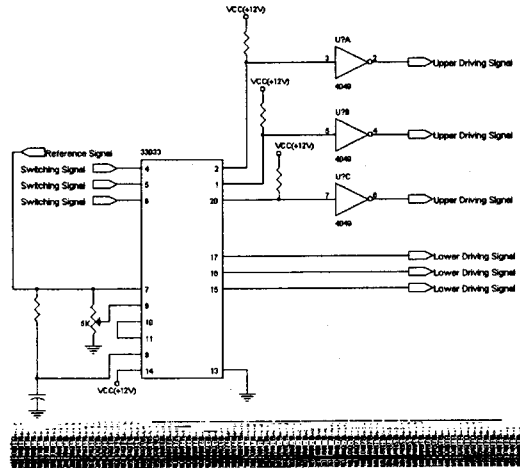


그림 1. PWM 신호 발생 회로

2.2 모터 구동부

모터 구동부는 모터에 전원을 인가하는 전원회로와 PWM 신호를 이용하여 모터를 구동하는 구동회로로 나누어진다.

2.2.1 전원 회로

교류 전원을 입력받아 모터에 필요한 직류 전원을 만들어낸다. 일반적으로 사용하는 110V에서 220V까지의 전원을 이용할 수 있으며 이 경우 출력은 155V에서 311V까지 나온다. 또한 PWM 발생 회로에 필요한 전원은 이 전원회로에서 나오게 함으로써 별도의 회로 구동

용 전원부가 필요치 않게 된다.

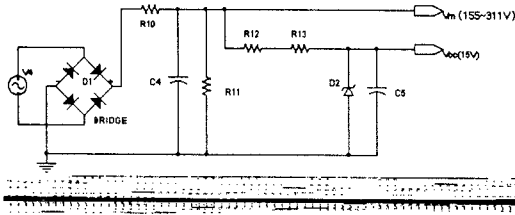


그림 2. 전원 회로

입력받은 교류 전원이 bridge 다이오드와 커패시터를 거치면서 직류 전원을 발생시킨다. 또한 정류된 직류 전원으로 제너 다이오드를 거쳐 15V 직류 전원을 얻을 수 있다. 제너 다이오드 앞의 저항은 전류 제한용 저항으로 전압 강하와 함께 15V 라인에 흐르는 전류를 제한한다.

2.2.2 구동 회로

모터 구동의 전체적인 회로는 다음과 같다.

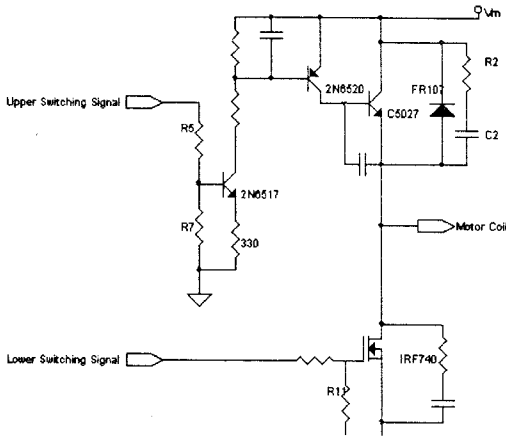


그림 3. BLDC 모터 구동부

2.2.2.1 상단부 구동

먼저 상단부 구동을 보면 다음과 같다. 상단 스위칭 신호에서 나오는 신호는 저항 R5와 R7에 의해 분할된다. 즉, 입력 전압의 4/5배가 TR 2N6517의 베이스에 가해진다. 상단 Power TR인 C5027의 사양을 보면 베이스 전류가 100mA 이상 되어야 포화시 콜렉터-이미터간의 전압이 충분히 유지될 수 있음을 알 수 있다. 이 전류는 2N6520으로부터 공급되는데 2N6520은 선형 영역에서 이득이 10~15정도이므로 약 10mA의 전류가 2N6520의 베이스에 공급되어야 한다. 이 구동 전류는 2N6517로부터 콜렉터로부터 공급된다. 그런데 2N6517은 에미터 파워워로 연결되어 있으므로 콜렉터에 흐르는 전류는 에미터에 흐르는 전류와 비슷하며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 I_C \approx I_E &= \frac{V_E}{R_E} \\
 &= \frac{(V_B - V_{BE(stat)})}{R_E} \\
 &= \frac{9.6V - 0.9V}{330\Omega} \\
 &= 26mA
 \end{aligned}$$

여기서 콜렉터 전류를 10mA보다 훨씬 큰 27mA로 둔 것은 Power TR 구동시 정상상태보다 훨씬 큰 전류가 과도적으로 흐르기 때문이다.

2.2.2.1 스너버 회로

스너버 회로는 R2와 C2로 구성되어 있다.

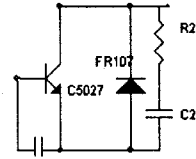


그림 4. 스너버 회로

여기서 커패시터의 역할은 TR이 차단되는 과도 상태에서 TR의 콜렉터와 에미터 사이에 걸리는 전압이 갑자기 증가하는 것을 방지하여 손실을 줄일 뿐만 아니라 TR의 과열 및 파손을 방지한다.

한편 TR이 차단 영역에서 전도 영역으로 들어설 때는 TR이 충분히 전도 영역으로 들어설 때까지 전류가 많이 흐르지 않도록 해야 한다. 원래 스너버회로의 커패시터는 TR을 차단할 때는 V_{CE}의 급격한 증가를 막아줌으로써 TR을 보호하는 역할을 하지만, TR이 턴온(turn-on) 될 때는 커패시터에 충전된 전하를 한꺼번에 밀어내어 결과적으로 TR에 과도한 전류를 흐르게 함으로서 TR을 손상시키기 쉽다. 이를 방지하는 것이 커패시터에 직렬로 연결된 저항이다.

2.2.2.3 하단부 구동

하단 구동 회로는 일반적인 저전압 FET 구동 회로와 같다. 단지 311V보다 충분히 높은 전압에서 견딜 수 있고, 모터에 흐르는 전류를 충분히 흘릴 수 있는 소자를 택하면 된다. R11의 역할은 잡음을 줄이고 동시에 FET 차단시 전하를 신속하게 빼주어 전류를 빨리 차단시키기 위한 것이다.

하단 구동 회로에도 스너버 회로가 사용되었는데 이때 사용한 IRF740의 사양을 보면 안정 동작 영역이 C5027보다 훨씬 넓음을 알 수 있다. 따라서 스너버 회로는 상단 구동 회로에 맞게 설계된 것을 그대로 사용한다.

2.2.2.4 전류 제한 회로

일반적으로 BLDC 모터의 전기자는 내부 임피던스가 매우 낮은 능동 부하이므로 빈번한 기동, 정지 및 정역 운전 과정에서 흐를 수 있는 과대 전류를 제한하기 위해 전류를 제한할 필요가 있다.

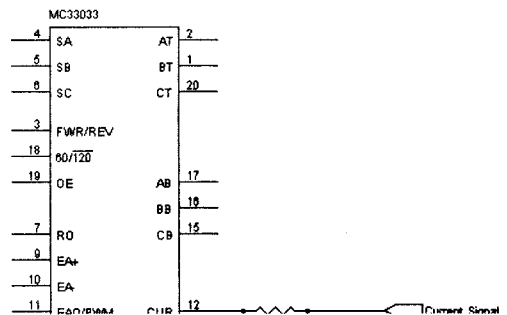


그림 5. 전류 제한 회로

그림 5는 전류를 제한하기 위한 회로이다. 5W 0.05Ω 저항을 통해 IRF740에서 나오는 전류값에 해당하는 전압을 얻어 33033 내부에 있는 OP-AMP를 통해 기준 전류와 비교하여 제한하는 회로이다.

2.3 회전자 위치 검출 회로

BLDC 모터의 역기전력과 센서 신호를 비교하면 센서 신호가 역기전력에 비해서 90° 위상 지연된 것을 알

수 있다. 회전자 위치 검출 회로는 이것을 이용하여 측정된 역기전력 신호로부터 회전자 위치 신호를 구한다.

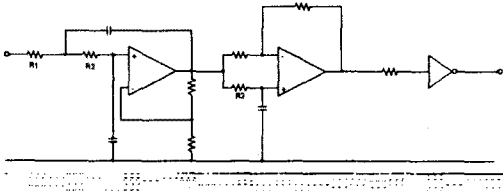


그림 6. 회전자 위치 검출용 필터 회로

회로는 전체적으로 저역 통과 필터와 위상 지연 회로로 구성되어 있다. 역기전력 파형이 앞단의 저역 통과 필터를 통과하면 위상지연 된 정현파를 얻을 수 있다. 이 정현파가 다시 위상지연 회로를 거친 후 NOT 게이트를 거치면 원하는 회전자 검출 신호를 얻을 수 있다.

저역 통과 필터는 입력단의 저항 R1과 R2를 이용하여 차단 주파수를 조절하며 여기서는 정상상태 구동에 알맞는 주파수를 정하여 R값을 구하였다. 위상 지연 회로에서는 모터의 구동 주파수를 이용하여 위상 지연 정도를 구하였으며 R3저항을 이용하여 위상 지연 각도를 조절한다.

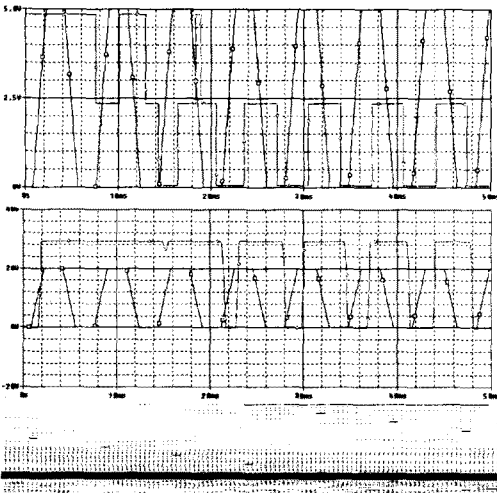


그림 7. 필터 시뮬레이션 결과 파형

위 시뮬레이션에 볼 수 있듯이 사다리꼴의 역기전력 파형으로부터 원하는 구형파 신호를 얻었다. 위의 파형이 본 논문에서 제시한 필터를 통과한 파형이며 아래의 파형이 기존의 필터 회로의 출력 파형이다. 기존의 필터와 비교하여 정확히 90° 위상지연에 도달하는 시간이 매우 빨라짐을 볼 수 있다.

이 신호는 회전자의 위치에 대한 정보를 가지고 있으며 위 그림에서 보여지듯이 역기전력에 90° 위상지연이 된 것임을 알 수 있고, 이 신호를 이용해서 구동드라이버에 신호를 발생시켜 모터를 구동하게 된다.

3. 실험 및 결과

이상의 회로를 이용하여 실제 모터를 구동하였다. 대상 모터는 축방향 자속형 20W급 3상 8극 모터이며 30V 3000rpm의 정격을 갖는다.

제안된 회로를 검증하기 위하여 먼저 상단 구동회로만으로 실험을 하였다.

스위칭 신호로 임의의 PWM 파형을 입력하였으며, 부하에 저항을 연결해서 스위칭이 되는지 확인하였다.

그림 8에 입력 신호와 출력 신호를 나타내었다. 1번 신호가 입력 신호이며, 2번 신호가 부하에서 측정된 출력 신호이다. 그림에서와 같이 입력 명령이 주어졌을 때 그에 따른 출력 신호가 양호한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

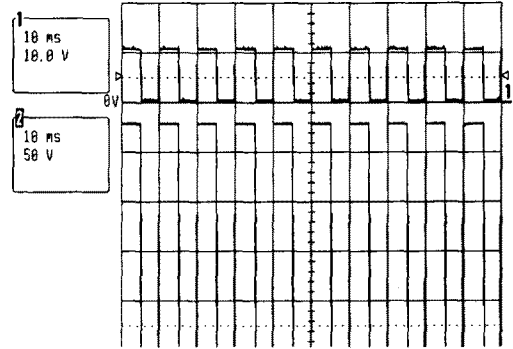


그림 8. 상단 구동 회로의 입력 및 출력 파형

다음은 제안한 필터의 입출력 관계이다.



그림 9. 회전자 검출 회로의 입력 및 출력 파형

위 파형이 역기전력이며 아래 파형이 필터를 통과한 출력 파형이다. 위상 지연이 양호한 형태로 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 BLDC 모터를 구동하는데 필요한 DC 전원 정류 회로와 PWM을 발생시켜 모터를 구동하는 모터 구동 회로, 그리고 역기전력으로부터 회전자 위치를 검출하기 위한 필터 회로를 연구하였다. DC 전원 정류회로는 일반적인 상용 전원인 교류 220V를 간단한 bridge 다이오드와 커패시터만으로 정류한 후 DC 전원을 얻었으며, Power TR과 FET로 전력 구동부를 구성하였다. 또한 회전자 위치 검출을 위한 능동 필터 회로를 설계함으로써 센서리스 구동을 할 수 있도록 하였다.

앞으로 좀 더 넓은 영역에서 위상지연이 이루어지도록 필터의 성능을 개선할 필요가 있으며, 초기 구동 부분을 보완한다면 우수한 성능의 BLDC 모터 구동 회로 및 제어기의 구성이 가능하다고 본다.

[참고 문헌]

- (1) T. Kenjo, S. nagamori, "Permanent Magnet and Brushless DC motors", Sogo Electronics Publishing Company, 1986
- (2) 원재선, 강태삼, 홍선기, "축방향 이중 회전자 브러시리스 직류 전동기의 센서리스 구동에 관한 연구", 전기학회 추계학술대회 논문집, p168-170, 1998
- (3) Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice-Hall PTR, 1998
- (4) Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, "Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits", Prentice-Hall, 1991