

구동전류 신호에 의한 BLDC모터 제어기 검사기 개발

*윤 경 섭, *이 수 흡
*거창전문대학

The Development of Checking System for the BLDC Motor Controller by the Driving Current Signal

*KyungSup Youn, *SooHeum Lee
*Geochang College

요 약

산업체에서 사용되는 BLDC 모터 제어보드의 경우에는 대량 생산을 통하여 제작하며, 제작과정에서 발생한 불량 제어보드는 모터의 초기 기동실패와 고속회전시의 소음 및 화재 발생 등의 원인일뿐만 아니라 이를 사용하여 응용제품을 생산하는 업체의 품질관리면에서 제어보드의 이상유무 확인이 반드시 필요하다. 일반적인 모터 제어보드의 이상 유무는 육안 및 소음에 의한 방법으로 모터의 기동실패나 고속 회전을 통한 소음등으로부터 경험에 의해 판단한다. 그러나 고속 회전시 발생하는 소음으로 모터 제어보드의 이상유무를 판단하게 되면 이상유무 판단에 필요한 시간이 길어져 대규모 생산과정에 적합하지 않을 뿐만 아니라 작업자의 경험에 의존하게 됨으로써 생산성에 지장을 주게된다. 또한 검사시간을 줄이기 위하여, 저속 회전만으로 이상유무를 판단하고자 할 경우 소음정도가 약해 이상유무를 판단하기가 매우 어렵고 더욱더 숙련된 검사자를 필요로 하게 되므로 생산공정에 자동검사기의 도입이 필요하다.

본 논문은 BLDC 모터 제어기의 이상이 발생할 수 있는 경우를 고찰하고, 이러한 BLDC 모터 제어보드의 이상상태가 납땜불량 및 소자 파괴에 의하여 입·출력이 비정상적으로 이루어 질 경우의 전류신호와 정상일 때의 전류신호를 비교분석한 후 이를 검출할 수 있는 아날로그 회로를 구현하고 실험을 통하여 검증은 하였다. 또한 이러한 BLDC모터 제어기의 검사기를 아날로그 회로로 구현할 경우의 주의점을 고찰한다.

I. 서 론

BLDC모터는 3상 동기모터와 구조가 같으며 회전자는 영구 자석으로 구성되어 있다. 따라서 영구 자석형 동기모터 (permanent magnet synchronous motor : PMSM)라고 부르기도 하며, 크게 고정자(stator), 회전자(rotor), 그리고 회전자의 위치 센서(rotor position sensor) 등으로 구성되어 있다.

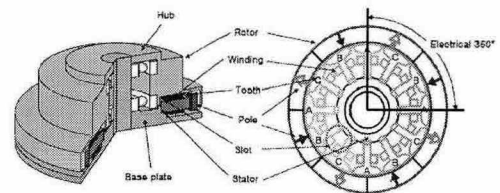


그림 1.1 BLDC 모터의 구조

Fig. 1.1 The structure of BLDC motor.

고정자는 고정자 철심(stator core)과 고정자 권선(stator windig)으로 구성되어 있으며 고정자 권선은 3상 Y결선 또는 Δ 결선으로 이루어져 있다. 회전자는 회전자축과 영구자석으로 구성되어 있으며 회전자축에 영구자석을 고정시키는 방법에 따라 외부 회전자형과 내부 회전자형으로 구분된다. 외부 회전자형의 회전자는 회전자축 표면에 영구자석을 접착한 것으로 내부 회전자형 보다 기계적인 강성이 떨어지나 돌출 효과(saliency effect)에 의한 영향을 무시할 수 있으므로 내부 회전자형의 경우보다 토크 제어가 용이하다.

II. 이상상태의 발생원인 분석

2.1 모터전류와 각속도가 궤환되지 않는 경우

전류입력과 각 속도 w 의 입력이 정상적으로 들어 오지 않는 경우 입력은 0이 되게 되고 이 경우에는 전류 궤환이 이 불안정한 상태가 될 수 있다. 전류입력은 두 상의 전류를 저항을 사용하여 전압 값을 입력받아 저항 값으로 전압을 루어지지 않게 된다. w 가 입력되지 않는 경우 이를 가지고 위치 θ 를 구해내기 때문에 정상적인 출력이 이루어지지 않게 된다. w 가 정상적으로 입력이 되어지고 전류값의 입력이 이루어지지 않게 되는 경우 역시 전류제어가 이루어지지 않는 역시나누어 계산하고 한 상의 전류는 3상 평형임을 이용하여 계산하게 되는데 이 경우 한 상의 전류값을 입력을 받지 못하고 한 상만 궤환 되는 경우 역시 이상상태를 나타낼 수 있다.

2.2 모터전류에 오프셋이 발생하는 경우



그림 2.1 디지털 교류 전동기 구동 장치의 전류 측정 시스템

Fig. 2.1 The current sensing system of digital motor control board.

BLDC 모터를 제어하는 경우 뿐만이 아니라 일반적인 제어 시스템의 경우 그림 2.1와 같은 제어시스템을 이용하여 전류를 제어할 경우 각 상의 전류센서와 저주파 통과 필터, A/D 변환기 등의 아날로그 소자에 의하여 디지털로 변환된 전류는 실제 전류와는 다르게 오프셋(offset)을 가지게 된다. 이러한 오프셋은 초기에 하드웨어가 결정되면 비교적 일정한 값을 가지나, 외부 잡음(noise), 경년(aging) 변화 등에 의해 시변(time varying)할 수도 있다. 일반적인 제어 보드에서는 전류를 측정하는 과정에서 소자의 파괴 또는 납땜 불량에 의해서 오프셋이 발생했을 경우 오프셋의 크기에 따라 각속도의 값에 영향을 미칠 수 있다[6]. 이 경우 모터가 동작은 하지만 원하는 각 속도를 추정하지 못하여 이상상태를 발견하기 힘든 경우가 발생할 수 있다.

그림 2.1과 같은 측정 시스템에서 각 상의 아날로그 부품과 각종 불량 원인에 의한 전체 오프셋이 각각 δi_{as} , δi_{bs} 라 하면 3상의 디지털로 변환된 전류는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$i_{as AD} = i_{as} + \delta i_{as} \quad (2-1)$$

$$i_{bs AD} = i_{bs} + \delta i_{bs} \quad (2-2)$$

$$i_{cs AD} = -(i_{as AD} + i_{bs AD}) \quad (2-3)$$

이를 동기 좌표계로 변환하여 표시하면 다음과 같다.

$$i_{ds AD}^e = i_{ds}^e + \delta i_{ds}^e \quad (2-4)$$

$$i_{qs AD}^e = i_{qs}^e + \delta i_{qs}^e \quad (2-5)$$

여기서 δi_{ds}^e , δi_{qs}^e 는 아래와 같이 표시된다.

$$\delta i_{ds}^e = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta i_{as}^2 + \delta i_{as}^2 \delta i_{bs}^2 + \delta i_{bs}^2} \sin(w_e t + \alpha) \quad (2-6)$$

$$\delta i_{qs}^e = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\delta i_{as}^2 + \delta i_{as}^2 \delta i_{bs}^2 + \delta i_{bs}^2} \cos(w_e t + \alpha) \quad (2-7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3} \delta i_{as}}{\delta i_{as} + 2\delta i_{bs}} \right) \quad (2-8)$$

식 2.6, 2.7로부터 알 수 있듯이 상 전류 측정에서의 오프셋은 동기 좌표계 상에서는 동기 각속도에 해당하는 주파수 성분을 가지는 교류 성분의 오차를 초래한다. 이러한 전류오차로 인하여 BLDC 모터는 토크 및 각속도 역시 오차를 가지게 된다. 일반적인 오프셋의 경우에는 각속도의 맥동을 초래함으로써 각속도를 관찰하여 오프셋의 영향을 파악하고 이를 제거할 수 있으나[6],[7] 본 논문의 경우에는 납땜불량 및 소자파괴등의 다양한 원인에 기인하여 큰 오프셋이 발생하게 됨으로 다시 불량 부분을 확인하여야 한다.

2.3 출력되는 전압이 비정상적으로 출력되는 경우

출력이 정상적으로 이루어지지 않는 경우에는 출력 전압이 모터의 직접적인 입력으로 사용되기 때문에 모터 기동실패가 발생할 가능성이 높다. 이 경우 보드의 프로세서 유닛이나 제어프로그램의 오류가 아닌 제어보드상의 불량으로 인한 경우 인버터의 불량을 의심해 볼 수 있다.

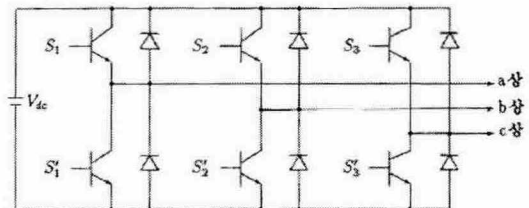


그림 2.2 3상 인버터의 구조

Fig. 2.2 The structure of 3-phase inverter.

인버터가 정상 동작하지 못하고 스위치가 파괴되었거나 제어신호가 전달되지 못하여 일정 스위치가 항상

열려있거나 닫혀있는 경우도 불안정한 상황을 불러올 수 있다. 항상 닫혀있는 경우 인버터가 단락되어 화재의 위험이 발생할 수 있으며 항상 열려있는 경우는 출력

III. 실험결과 및 고찰

그림 3.1의 BLDC 모터와 정상적인 BLDC 모터제어보드 1대, 이상이 검출된 10대의 BLDC 모터제어보드, 모터제어보드 이상검출 시스템을 이용하여 실험을 수행하였다.

우선 BLDC 모터와 정상적인 BLDC 모터제어보드를 이용하여 정상적인 모터전류를 검출하고 이상이 발생된 10대의 BLDC 모터제어보드로 교체하여 이상상태의 모터전류를 검출하였다. 이상이 발생된 모터제어보드의 경우 기동에 실패하여 전류값이 0으로 나오는 경우는 그림을 생략하였다. 모터를 소음을 발생하면서 동작하는 경우 모터전류는 속도지령이 600rpm일때 그림 3.23와 같았으며 6000rpm일때 그림 3.3과 같았다.

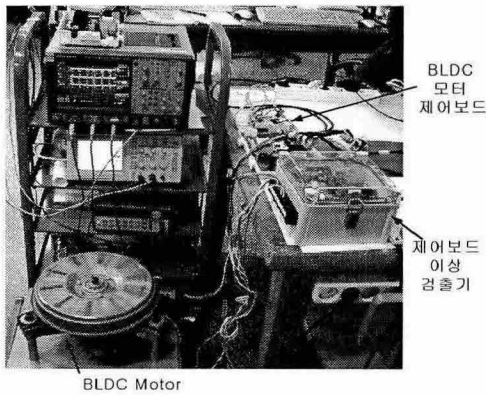


그림 3.1 실험에 사용한 BLDC 모터제어 및 이상검출 시스템

Fig. 3.1 BLDC motor control system and error detection system.

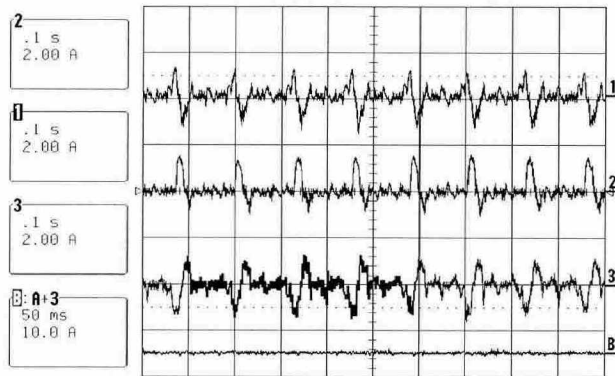


그림 3.2 600rpm 구동시 모터 제어보드 이상이 없는 경우

Fig. 3.2 Motor current signal, 600rpm.

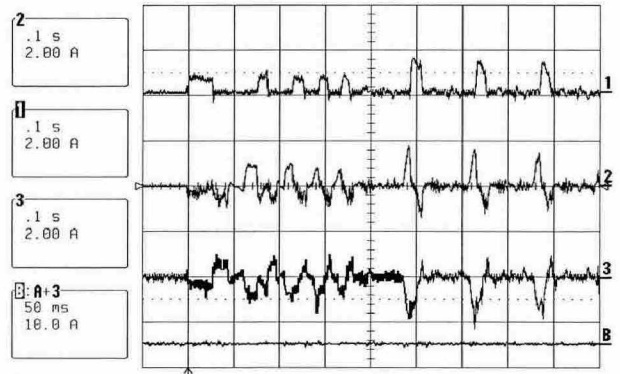


그림 3.3 600rpm 구동시 2번째 상 전류파형 이상
Fig. 3.3 Second phase current error, 600rpm.

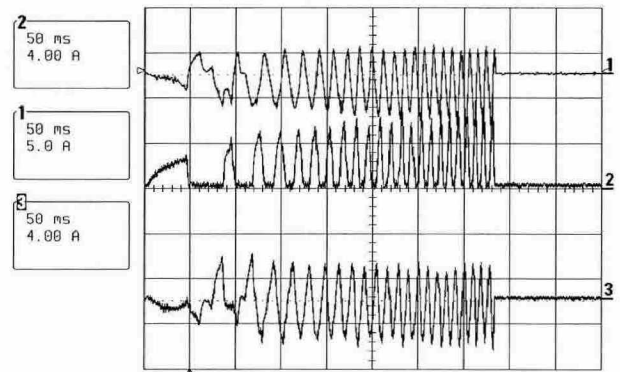


그림 3.4 6000rpm 구동시 2번째 상 전류파형 이상
Fig. 3.4 First phase current error, 6000rpm.

실험결과 파형이 한쪽으로 치우친 경우에도 반대쪽 리플이 일정 크기 이상이 되면 신호로 인식되어 정상파형으로 동작되었다. 이로부터 모터에서 인식하는 일정 이상의 문턱값(threshold value) 이하가 되었을 때 이상상태임을 알 수 있었다.

IV. 회로 설계시 주의점

그림 3.2와 그림 3.3에서 정상적인 파형과 이상이 발생한 파형과의 차이는 육안으로도 구분이 가지 않을 만큼 미약한 것으로 이를 회로적으로 검출하기란 쉬운 것이 아니다. 그러나 명확히 정상적인 파형은 사인파를 나타내고 있으며 비정상적인 파형은 구형파를 나타내고 있다. 이러한 것은 신호처리를 통한 FFT 분석등을 통하여 검출할 수도 있으나 아주 작은 신호이지만 정상적인 파형에서는 비정상적인 파형에서 볼수 없는 양극성을 보임을 알 수 있다 따라서 이러한 양극성을 정상과 비정상의 구분 신호로 사용하여 단순하면서 효과적인 시험기들 구현하고자 한다.

이때 고려하여야 할 사항으로는 첫째 그림 4.1에서 보는 것처럼 다이오드를 이용한 피크 검출회로로 검출하고자

할 경우 원 신호가 아주 작으므로 일반 실리콘 다이오드보다 문턱전압이 낮은 게르마늄계열을 사용하여야 할 것이다. 또한 원신호를 증폭하기 위하여 단순히 증폭기의 이득을 증가시킬 경우 잡음도 같이 증폭되므로 측정 BLDC 모터의 부하를 증가시키거나 전류센서의 증폭도를 높이는 방향으로 전개되어야 할 것이다.

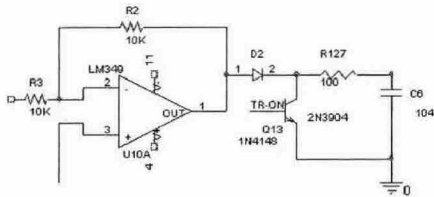


그림 4.1 전류신호 검출회로

Fig. 4.1 The circuit for the current signal detection

둘째 BLDC 모터 구동시 초기에는 잡음을 동반한 판단할 수 없는 신호가 들어오므로 전류신호가 들어오고 난 후 정상적인 신호가 들어오기 까지 일정시간 신호를 제외시키는 시간이 필요하며 이러한 회로를 구현하기 위하여 그림 4.2와 같이 아날로그 스위치인 DG201을 사용하여 제외시키고 있다.

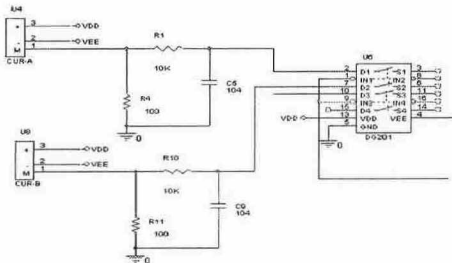


그림 4.2 전류신호 선택회로

Fig. 4.2 The circuit for the effective current signal selection

셋째 초기의 잡음성 신호를 제외시키기 위해서는 시험을 시작한다는 신호가 필요하다. 이것은 어떤 시점부터 일정 시간동안의 신호를 제외시키기 위한 것으로 이것은 3상의 전류신호가 일정크기 이상이되면 시험을 시작한다는 신호로 받아들이기 위하여 그림 4.3과 같이 OR회로를 사용하여 3상을 모두 감지 하도록 하였으며 CD4528을 사용하여 일정시간 신호를 유지하도록 하였다.

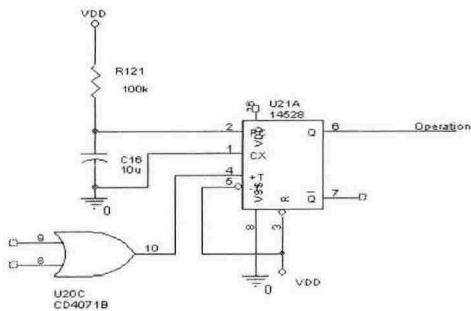


그림 4.3 동작중신호 발생회로

Fig. 4.3The circuit for the operation signal

V. 결론

본 논문은 BLDC 모터의 제어에 이용되는 제어보드의 이상 유무의 원인을 고찰해보고 이들을 검출하기 위한 아날로그 회로를 설계하여 실험을 통하여 검증하였다. 또한 이러한 아날로그회로를 설계하기 위하여 주의사항을 고찰해 보았다.

생산현장에서 발생하는 제어보드의 불량은 보드제작 시 전자소자의 납땜불량과 소자불량으로 인한 원인이 대부분이다. 이러한 발생원인으로 모터에 인입되는 전류에 옅셋이 발생하여 상의 쏠림현상이 나타나고 고속회전시 많은 소음을 유발하거나 기동실패의 원인이 되기도 하며 화재의 위험도 있다.

따라서 BLDC 모터 제어보드의 이상유무를 판단하기 위해 홀센서를 통해 전류를 검출한 후 전류의 최고값이 기준값 이하로 내려간 경우 모터제어 보드의 불량을 판단하는 방법을 제안하였으며 이를 실제 제작된 검출보드와 BLDC 모터 제어보드를 사용하여 확인하였다.

이 연구를 통하여 앞으로 BLDC 모터 제어보드 대량 생산시 불량보드를 검출해 내는 시간을 단축시키고 자동화를 통한 생산성향상과 최종제품의 품질향상을 통하여 업체의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 최병태, "BLDC 모터의 속도제어제어범위 확장," 석사학위논문, 경북대학교, 1994년 12월.
- [2] 서석훈, 유정봉, 우광준, "시리얼 통신 기반 파라미터 추정에 의한 BLDC 모터의 고장검출," 조명·전기설비학회 논문지 제 16권 5호, pp.45-52 2002년 9월
- [3] 이육진, "위치 센서가 없는 소형 BLDC 전동기의 기동방법에 관한 연구," 석사학위논문, 서울대학교, 2004년 2월
- [4] 강창익, "일반적인 형태의 역기전력을 갖는 브러쉬 없는 직류 전동기의 궤환 선형화 제어," 석사학위논문, 서울대학교, 1995년 2월
- [5] 정동화, "전력전자 및 전동기제어," 인터뷰전, 2004
- [6] 설승기, "전기기기 제어론," 브레이크리아, 2002
- [7] 이상용, 강병희, 채영민, 목형수, "비선형 역기전력 파형을 고려한 BLDC 모터 모델," 전력전자학술대회 논문집, pp.22-25 1999.
- [8] 강석주, "히스테리시스 전류제어기 구동 BLDCM의 轉流 현상 해석," 석사학위논문, 서울대학교, 1993년 2월