

Fan System의 Parameter ID를 통한 고장 검출

박대섭*, 신두진*, 허옥열*, 임일선**

* 인하대학교 전기 공학과

** 인천기술대학 전자과

Fault Detection using Parameter Identification for Fan system

Dae-Sop Park*, Doo-Jin Shin*, Uk-Youl Huh*, Il-Sun Lim**

*Dept. of Electrical Engineering Inha University

**Dept. of Electronic Engineering In-Chon Technical College

Abstract - Recently, Several type of motors are used more widely in Fan system because of their low cost and high reliability. Therefore, the importance of fault detection and isolation of fan system significantly increases. The motor is a important factor bring out the fan system fault. So the problem of a fault detection for motor based on a parameter identification will be considered in this paper. After an introduction into fault detection with parameter estimation, a mathematical model for motor with special emphasis on motor itself. In the fault detection system, current and motor speed are used as parameter. Finally, simulation results are used to demonstrate the efficiency of the fault detection system.

세우기가 어렵다.

· 계산량이 많고 잡음에 민감 하다.

모델에 근거하지 않는 방법에는 어떤 한 시스템에 근거하지 않고, 그 시스템의 측정치, 경험, 물리적 검토를 기일초로 하고 있다. 이 방법에는 Limit Checking, 특수한 센서의 설정, 주파수 해석, 또는 전문가 시스템의 기법들이 포함된다. 이 방법에는 다음과 같은 문제점이 있다.

- 특별한 하드웨어를 선정해야 한다.
- 명확한 규칙 설정이 복잡하다.
- 대규모 산업 시스템에의 적용이 어렵다.

이에 본 논문에서는 팬 시스템에서의 고장을 분류하기 위해 특히 주 고장 요인인 모터에 대해서 고장을 검출하고 시뮬레이션 결과를 제시한다.

1. 서 론

2. Fan System

일반적으로 기계 시스템의 동력 전달은 회전 요소를 통해 이루어지므로 회전요소의 이상 진동은 전체 시스템의 동작에 매우 중요한 영향을 미친다. 따라서 시스템의 회전 요소에 관한 적절한 유지를 위한 감시 및 진단의 지능화는 전체 시스템의 자동화 및 지능화에 매우 핵심적인 요소이다. 일반적으로 FDIU(Fault Detection Isolation Unit)은 시스템의 사전 정보 또는 측정된 정보에서 얻을 수 있는 고장 데이터를 분석하여 이루어 질 수 있는데 진단 과정은 다음의 4단계로 분류 할 수 있다(1).

대상 시스템은 분리형 에어컨의 실내기를 그 대상으로 하였다. 팬 모터 시스템에서는 모터에 나타나는 고장 이외에도 팬의 날개 고장, 팬 및 구동축 이음간의 불량, 축의 비틀림 등으로 인한 고장이 있을 수 있다. 팬의 고장은 외관 및 소음으로 판별이 가능하다. 또한 CFF팬은 장축이므로 축의 강성 및 팬 날개의 설계에 의해서 시스템에 크게 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 가장 흔한 고장 원인인 구동모터의 고장을 논하기로 하고 팬은 단지 부하로서만 보기로 하겠다.

- 1) 시스템의 모든 상태변수에 관한 정보로부터 고장 여부를 결정한다.
- 2) 모든 상태변수의 값이 정상 또는 정상근처 인지 검토하여 고장을 검출한다.
- 3) 고장에 의해 정상 값에서 이탈하는 시스템의 물리적 특성에 관계하는 파라미터를 검출한다.
- 4) 고장 부위를 판별

팬 모터 시스템은 그림 1과 같은 CFF(Cross Flow Fan)을 연결한 BLDC 모터로 설정한다.

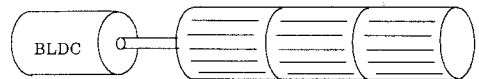


그림 1. Blowering 모터 시스템

여기에서 1)과 2)는 고장의 검출부 이며 3)과 4)는 파라미터와 고장간의 관계를 판별하는 고장의 진단부 라고 볼 수 있다. 고장의 진단 방법으로는 모델에 근거한 방법과 모델에 근거하지 않는 방법이 있다.

모델에 근거한 방법에는 상태추정 접근, 파라미터 추정 접근등이 있으며 다음과 같은 문제점을 가지고 있다(1)(2)(3).

3. 고장의 분류

- 실제의 많은 시스템들은 정확한 수학적 모델을

전술한 바와 같이 팬 시스템에서 가장 흔한 고장인 모터에서의 고장을 분류해 보면 공극 이상, 베어링 고장, 회전자 권선손상, 상 불평형 등을 들 수 있다. BLDC 모터는 고정자와 회전자 사이의 공극 자장에 의해 발생된 전자기력에 의해 회전자가 힘을 받아 회전하

게 되고 회전자가 받는 힘은 공극 자장밀도의 제곱에 비례한다. 따라서 회전자나 고정자의 이상으로 인해 회전자 축이 편향된 경우 공극의 길이에 변화를 주게 되고, 이러한 편심에 의해 공극이 최단거리가 되는 점이 회전자의 회전에 따라 회전을 하게 된다. 그러므로, 고정자나 회전자의 어떠한 위치에 고장이 발생하게 되면 고정자와 회전자 사이의 공극이 진동을 하게 되는 편심이 발생하게 되는데 이러한 편심은 특정한 고장에 대해서 고유한 주파수를 가지게 되어 고정자 전류에 주파수 성분이 발생하게 된다[4]. 베어링 고장의 경우 베어링이 점차 부서지거나, 베어링 조립이 잘 못된 경우, 힘의 편향에 의해 링이 파이는 경우 등이 그 원인이 된다. 이 경우 역시 정상상태에서는 감지 할 수 없었던 주파수에서 파형이 나타난다. 이 때 발생하는 고장 주파수는 베어링의 기계적인 치수와 전동기의 회전속도에 의해 결정된다[5]. 회전자 내의 단일 권선에 대해서 손상이 일어난 경우 전류의 대부분은 부근의 회전자 권선으로 흐르게 된다. 즉 정상적인 경우 회전자 권선의 반대 방향으로 흐르는 같은 크기의 전류가 합쳐져서 나타나는 것으로 볼 수 있다[6]. BLDC 모터에 인가되는 전압은 각각 120도의 위상차를 가진다. 그러나 상 불평형이 발생하는 경우 정상적인 고정자 전류의 상순과는 반대인 역상 전류가 발생한다. 이로 인해 회전자에 발생하는 맴돌이 전류의 주파수가 정상 운전 상태의 두 배가 된다. 절연되어 있는 3상 시스템에서 상불평형이 발생하는 경우, 가장 큰 전류가 흐르는 상의 전류값과 가장 작은 전류가 흐르는 상의 전류값 간의 차이와 역상전류 사이엔 밀접한 관련이 있다.

전술한 내용은 주로 고정자에 유입되는 전류의 주파수 해석을 통해 그 고장을 판단을 하고 있다. 본 논문에서는 모터의 드라이버로 쓰이는 콘트롤러에서도 간단하게 고장을 판별 할 수 있는 전류와 속도의 상태를 통한 고장 검출을 소개 하고자 한다.

4. Modeling

팬 시스템의 모터로서는 높은 파워 밀도와 낮은 전기적 노이즈, 고효율 및 고토크 등의 특성을 갖고 있는 BLDC 모터를 사용하였다. BLDC 모터는 회전자에서 전기를 공급하는 정류자와 브러시의 단점을 제거하기 위하여 회전자와 고정자의 위치를 바꾼 것이다. 즉 자계에 상응하는 교번전류의 공급을 위하여 회전자의 자극을 검출하는 센서와 이에 따른 교번 전류를 만들기 위한 스위칭 인버터가 있다. 그러므로 정류자와 브러시의 역할을 스위칭 소자와 홀센서가 담당한다.

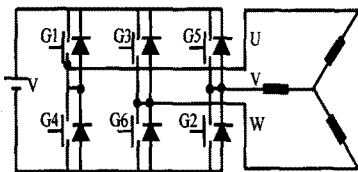


그림 2. BLDC 모터의 드라이브 시스템

세 개의 고정자 권선에 대한 전압 방정식은 키르히호프의 전압법칙에 의해 다음과 같게 된다.

$$v_u = R_u i_u + L_u \frac{di_u}{dt} + M_{vu} \frac{di_v}{dt} + M_{wu} \frac{di_w}{dt} + e_u$$

$$v_v = R_v i_v + L_v \frac{di_v}{dt} + M_{vu} \frac{di_u}{dt} + M_{wv} \frac{di_w}{dt} + e_v$$

$$v_w = R_w i_w + L_w \frac{di_w}{dt} + M_{vu} \frac{di_u}{dt} + M_{wv} \frac{di_v}{dt} + e_w \quad (1)$$

여기에서 M은 한 상의 다른 상에 대한 상호 인덕턴스를 나타낸다. 본 논문에서의 모델링은 고장상태에서의 시뮬레이션을 목적으로 하기 때문에 간략화는 하지 않는다.

역기전력 e는 다음 식으로 나타낸다.

$$e_\phi = K_v \omega \quad (2)$$

여기에서 K_v 는 역기전력 상수로, 사다리꼴 모양의 역기전력 파형의 실효값을 계산 할 수 있다.

다음 모터에 Blowing fan을 로드로서 연결하였을 때 모터의 운동 방정식은 다음과 같이 표현된다[3].

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$T_L = k_1 + k_2 \cdot \omega^a + k_3 \cdot \omega^b$$

T_e : instantaneous motor torque
 T_L : load torque
 J : inertia of fan and rotor
 ω : angular speed (rad/sec)
 k_1, k_2, k_3, a, b : fan load constant ($k_1 \neq 0$)

5. Fan을 장착한 전체 System

그림3에서는 팬 시스템에서의 고장을 검출하기 위해 전류와 모터의 구동속도를 동정하였다. 모터의 고장 시 이상전류를 검출하기 위해 Current detector를 연결하고 모터의 속도를 측정하기 위해 BLDC 모터내에 있는 홀센서를 이용한다

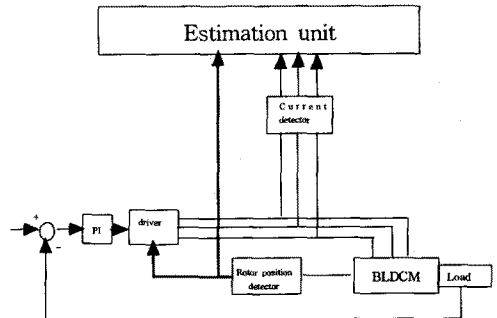


그림 3. 팬 시스템의 고장 검출 블록선도

6. 모의 실험 및 결과

모의실험은 베어링고장과 전기자 회로의 단선과 합선의 경우에 대해서 실시하였다. 그림6,7은 베어링 고장에서의 전류와 각속도 파형이다. 베어링은 경우 회전자의 회전이 원활하게 되지 않으면서 베어링 점점 가열 되서 회전자가 달라 붙는 점까지 온도가 높아지는 경우이다. 이러한 베어링 고장은 실제로는 아주 복잡한 현상으로 심도 있는 연구가 필요하므로 본 논문에서는 Load torque의 단계적인 변화로 근사화 했다. 그림 8,9는 전기자 회로의 단선고장 시의 파형을 보이고 있다. 전기자 회로의 단선현상은 고정자 권선의 고장으로 발생한다. 전기자 회로의 단락고장의 원인으로는 고정자 권선이 몸체의 접지와 합선된 경우, 고정자 권선 자체내에서 합선된 경우, 고장의 결과로 다른 두상과 한선된 경우 등이

그 원인이 될 수 있다. 앞의 두 원인으로 인한 고장에서는 그 저항과 인덕턴스의 값이 정상상태 상(Phase)의 그것에 비해 작은 값을 갖게 된다.

다음의 파형들은 정상상태와 각 고장상태에서의 상 전류와 모터의 회전 속도를 보이고 있다.

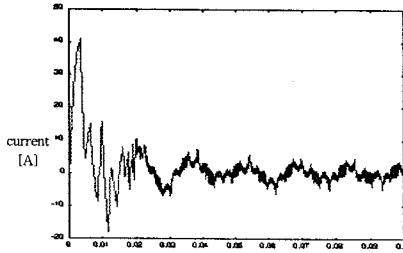


그림 4 정상상태 전류

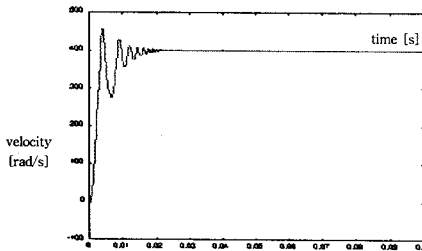


그림 5 정상상태 속도

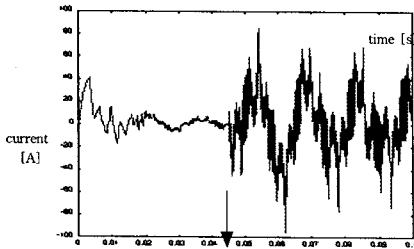


그림 6. 베어링 고장 시 전류

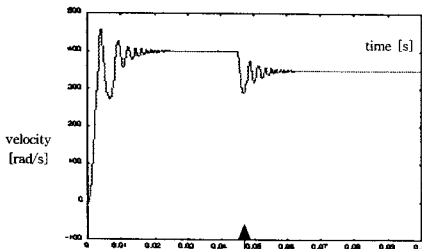


그림 7. 베어링 고장 시 속도

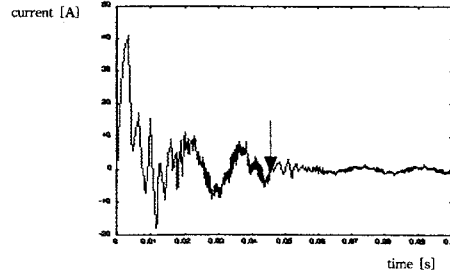


그림 8.전기자 권선 단선 시 전류

모의 실험결과 본 논문에서 가장 흔한 고장 요인으로 보았던 단선현상과 베어링 고장에 대하여 전류 및 속도 동정을 통하여 고장의 초기 증상을 파악할 수 있음을 알았다. 이를 통하여 관리자는 초기에 고장을 검출하여 적절한 조치를 통해 더 큰 고장을 예방 할 수 있다.

7. 결론

모의 실험 결과에서 서술 하였듯이 팬 시스템에서의 주 고장의 원인인 모터의 고장 시 전류와 속도의 변화를 온라인으로 파악함으로써 초기에 고장을 검출하여 이에 신속하고 고장 원인에 적절한 대응을 할 수 있도록 하여 전체시스템에 미치는 악 영향을 방지 할 수 있다.

향후에는 팬을 포함한 고장 원인에 대하여 연구가 뒤따라야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Watanabe, M.Sasaki and D.M. Himmelblau "Determination of optimal measuring site for Fault Detect of Non-Linear System", INT. J. SYSTEMS SCI. Vol16, No.11, PP1345- 1363,1985
- [2] Alam S. Willsky "A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic System" Automatica Vol.12 PP601-611 1976
- [3] Janos J. Gertler, "Survey of Model-Based Failure Detection and Isolation in Complex Plants". IEEE Control System Magazine, PP3-11 December 1988
- [4] Penman, H.G. Sedding and W.T. Fink, "Detection and Location Interturn Short Circuits in The Stator Winding of Operation Motor", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.9, No.4, December, 1994
- [5] Randy R. Schoen, Thomas G. Gabetler, Farrukh Kamran, and Robert G. Bartheld, "Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", IEE Trans. on Industry Application, Vol.31, No.6, November/December, 1995
- [6] G.B. Kliman, J. Stein, and R.D. Endicott. "Noninvasive Detection of Broken Rotor Bar in Operating Induction Motor", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.3, No.4, December, 1988