

LabVIEW를 이용한 휴대용 3상 소형유도전동기 회전자 바 고장 진단 시스템 개발

論 文

56P-1-9

The Development of Portable Rotor Bar Fault Diagnosis System for Three Phase Small Induction Motors Using LabVIEW

宋明現[†] · 朴奎南^{*} · 韓東奇^{**} · 李泰勳^{***} · 禹奕在^{****}

(Myung-Hyun Song · Kyu-Nam Park · Dong-Gi Han · Tae-Hun Lee · Hyeok-Jae Woo)

Abstract - In this paper, a portable rotor bar fault diagnosis system for small 3 phase induction motors is suggested. For portable real-time diagnosis system, an USB-DAQ board for collecting the 3 phase current data, three current probes, and a notebook computer are used. The LabVIEW graphical language is used for filtering, analysis, storing, and monitoring the current data. The three phase stator current are filtered and transformed to frequency level by FFT. An analysis window programed by LabVIEW is located in front panel to show the FFT results and this suggested window has a zooming function to detect the fault feature more easily near the feature frequency range which is varying by the slip frequency. To show the possibility of portable rotor bar diagnosis system, three types(healthy, one rotor bar fault, two rotor bar fault) of rotor bar are intentionally prepared and compared by the suggested window of front panel. Experimental results are shown that a suggested diagnosis system is applicable to portable diagnosis system and the rotor bar fault is detected by the frequency window in front panel programed in LabVIEW graphical language.

Key Words : Small induction motor, USB-DAQ board, LabVIEW, FFT, Portable real-time diagnosis system

1. 서 론

유도 전동기는 많은 전기 기기나 산업공정의 구동장치로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 돌발적인 사태에 따라 인명 피해의 위험과 공장라인의 정지 등 많은 문제를 가지고 있기 때문에 유도 전동기 예방 진단의 필요성이 크게 요구되고 있다. 유도전동기의 고장 원인은 전기적인 결함, 기계적인 결함, 유지 보수의 미비 등 3가지로 나눌 수 있다.

유도전동기의 구조가 견실할지라도 대용량 기기에서 바(bar)의 결함이 발생한다. 이와 같은 결함은 시동과 같은 과도 상태에 의한 원인이거나 운전 중의 고열과 원심력에 의한 원인이 있으며, 결함이 있는 주물(틈) 또는 제작과정 중에 압력차에 의하여 바와 엔드링 사이에서 결함이 발생한다[1-2].

가상 계측(Virtual Instrument, VI) 기술개발은 컴퓨터산업의 성장과 밀접한 관계를 가지고 있다. 지난 기간 마이크로프로세서 칩 과 소프트웨어 기술은 대단한 발전을 하게 되었으며, 주변기기 지원 과 컴퓨터기반 기술을 위한 접속장

치와 같은 다양한 산업 기준을 확립시켰다. 계측기 제작자가 정의한 고전적인 계측 장비와 달리 LabVIEW의 VI는 온도 모니터링, 멀티 미터, strip 차트 레코더, 디지털화, 시그널 분석 등의 다양한 디바이스로 사용할 수 있다. 또한 개방적인 구조로 이루어져 있고, 최신의 개발 환경 및 툴을 사용할 수 있고, 재사용이 가능한 모듈로 구성되므로 개발 및 유지 보수가 용이하다[3]. 또한 인터페이스 기술의 혁신적인 방법인 USB(Universal Serial Bus)는 많은 주변기기들이 채택하고 있는 접속 방법으로서 PC 주변기기와 연결하기 쉽고 간편한 방법이다.

회전자 바 고장은 박상진[1] 등이 제안한 단상유도전동기의 회전자 바 고장 진단을 위한 기전연성계 해석 방법과, 김창업[4] 등이 유한요소법을 이용한 진단방법과, Kliman[5] 등이 축과대 성분과 공급주파수 성분사이의 크기 차이에 의하여 회전자 바 고장 검출방법을 제안하였으며, Thomson[6] 등은 회전자 바 고장과 고정자 고장 등을 전류신호 해석방법을 이용하여 검출 가능함을 보였으며, Benbouzid[7]의 유도전동기 신호해석을 이용한 방법 비교가 있으나 한 개의 회전자 바 고장에 대한 고장진단 방법에 국한하고 있다.

본 연구에서는 현재 공급되고 있는 저렴한 장비를 이용한 보다 간단한 휴대용 회전자 바 고장진단 시스템을 제안하였다. USB를 이용한 DAQ보드와 3상 전류프로브와 노트북을 사용한 휴대용 진단시스템을 제안하였으며, 프로그램이 간단하고 결과 확인 및 분석이 편리한 LabVIEW를 이용하여 3상 유도전동기의 회전자 바 고장을 진단할 수 있는 휴대용 진단시스템을 제안하였다. 또한 회전자 다이캐스팅 과정 중 이물질을 주입하여 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar

[†] 교신저자, 正會員 : 順天大 電氣制御工學科 教授 · 工博
E-mail : mhson@sunchon.ac.kr

^{*} 正會員 : 順天大 電氣制御工學科 教授 · 工博

^{**} 正會員 : 順天大 電氣制御工學科 碩士課程

^{***} 正會員 : 順天大 電氣制御工學科 碩士卒業

^{****} 正會員 : 順天大 電氣制御工學科 博士修了

接受日字 : 2006年 11月 15日

最終完了 : 2007年 1月 4日

고장 전동기를 제작하고, 정상 전동기와 3가지를 비교 실험하였고, 제안한 휴대용 3상 소형 유도전동기 회전자 바 고장을 실시간으로 진단할 수 있는 시스템의 유용성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 LabVIEW

LabVIEW는 그림 1과 같이 수집, 분석, 표현의 3부분으로 구성되어 있으며, 하드웨어로 연결하여 사용자와의 인터페이스에 최적화되어 있다. 이는 프로그램 상에서의 인터페이스에 대한 설정만으로도 데이터 측정(Acquisition)이 가능하다는 것을 의미하며, VI를 이용하여 다양한 기능의 함수를 이용한 분석(Analysis)에서 파일로 저장, 모니터 및 프린터로 출력, 통신을 이용한 전송 등의 표시(Presentation)까지 PC에서 쉽게 처리할 수 있다.

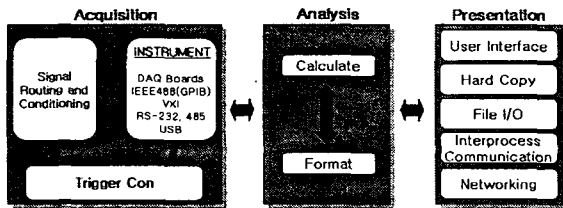


그림 1 랩뷰의 구성 요소

Fig. 1 Integral part of LabVIEW

LabVIEW는 프론트 패널과 블록 다이어그램으로 구성되어 있으며, 블록 다이어그램은 실제적으로 프로그래밍이 이루어지는 곳으로서, 다양한 기능의 함수들을 가지고 쉽게 프로그램 할 수 있으며, LabVIEW의 프로그램은 VI와 와이어의 연결로 이루어져 있으며, 와이어를 통한 데이터흐름으로 프로그램은 진행이 된다. 프론트 패널은 사용자와 인터페이스가 이루어지는 부분으로서 그래프, 인디케이터, 컨트롤러 등을 배치하여 인터페이스 창을 만들 수가 있다.

2.2 회전자 바 고장

회전자 바 고장과 같은 비대칭 상태에서 전동기를 구동하게 되면 선 전류의 불균형, 손실 증가, 토크맥동과 평균 토크의 감소를 가져온다.

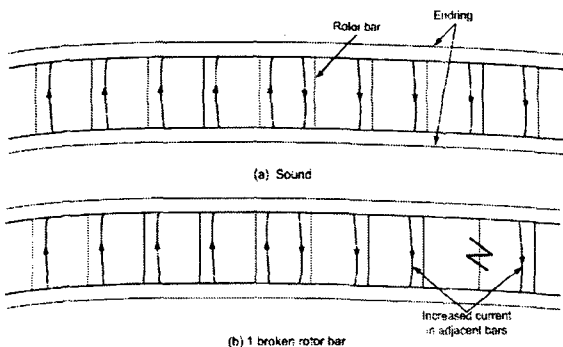


그림 2 유도전동기의 전류 패턴

Fig. 2 Current pattern of induction motors

회전자 바 결함에 의해 나타나는 이러한 현상은 회전자 전류에 의해 발생되는 자계의 비대칭을 초래하여 공극 자속의 이상을 발생시킨다. 그림 2의 정상 상태(a)와 회전자 바 고장(b)과 비교해 볼 때 하나의 회전자 바 고장으로 인한 전류의 흐름은 손상된 회전자 바 내부로 흘러야 할 전류의 대부분이 인근의 두 회전자 바로 흐르고 있음을 알 수 있다.

회전자 바의 고장은 고정자 측 공급전류에서 서로 다른 주파수 성분들을 발생시킨다. 왜냐하면 손상된 회전자 바의 결과로서 회전자 회로에 비대칭으로 인해 주파수 $s\omega_1$ 에서 회전자 전류는 정상과 역상 회전자 기자력(magneto motive force: mmf)을 발생시키기 때문이다.

회전자 바 고장의 주파수 특성은 고정자 전류에서 기본 공급 주파수 f_e 주변의 측파대 성분, $\pm 2sf_e, \pm 4sf_e, \pm 6sf_e, \dots$ 에서 발생한다.

2.3 회전자 바 고장의 특징 주파수

회전자 고장은 고정자 선 전류에서 관측되는 다음 식 (1)과 같은 회전자 바 결함 주파수 성분을 이용하여 회전자 바 고장을 검출 할 수 있다[5].

$$f_b = f_e \left[\frac{k}{2p} (1-s) \pm s \right] \quad (1)$$

여기서, f_b 는 회전자 바 결함 주파수, f_e 는 전기적 공급 전류 주파수, s 는 슬립(slip), p 는 극수, k 는 상수, 전동기의 일반적인 권선 구성에 의해 $k/2p=1,5,7,11,13, \dots$ 이다.

회전자 바 고장의 고장 특징 주파수는 1차, 5차, 7차, 그리고 더 높은 차수의 고조파의 측파대에서 발생한다고 알려져 있다. 실제로, 선전류 스펙트럼상의 회전자 바 고장의 특성 주파수는 식(2)과 같이 전기적 공급 전류 주파수 주변의 새로운 측파대에서 순차적으로 발생한다[5].

$$f_b = (1 \pm 2ks)f_e \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

여기서, $k=1$ 일 때, $f_b = (1 \pm 2s)f_e$ 이며, $(1-2s)f_e$ 성분(the 1st lower sideband: LSB1)은 회전자 바 고장으로 인하여 발생하게 되고, $(1+2s)f_e$ 성분(the 1st upper sideband: USB1)은 속도 진동의 결과로서 발생한다. 실제로는 기본 주파수 주변의 전류 측파대 성분은 정상 상태일 때에도 존재할 수 있다.

그러나 슬립 s 는 전동기의 회전 속도와 함께 변화하므로 전동기의 회전속도와 슬립과의 관계를 나타내는 식(3)을 이용하여 알 수 있다.

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}, \quad N_s = \frac{120f_e}{p} \quad (3)$$

여기서, N 은 전동기의 회전속도, N_s 는 동기속도이다. 전동기의 부하는 식 (2)과 같은 공급주파수 주변의 측파대 성분의 크기에 영향을 주며, 공급 주파수 성분에 비하여 매우 작으나 충분히 검출 할 수 있다.

본 논문에서는 회전자 고장을 검출하기 위하여 식(2)의 여러 측파대 성분들 중에서 진폭이 다른 측파대에 비하여 큰 성분, $(1 \pm 2s)f_e$ 을 이용하여 두 개의 회전자 바 고장의 진폭 특성을 비교하여 효과적으로 검출 할 수 있음을 확인하였다.

3. 실험 및 검토

휴대용 3상 유도전동기 회전자 바 진단 시스템을 구현하기 위하여 인터페이스가 간편한 USB-DAQ 보드를 이용하였고, 3상 전류측정을 위하여 3개의 전류 프로브를 사용하였으나 이는 추가적으로 권선고장 등 전동기 고장진단을 위한 것이며 회전자 바 고장 진단만 한다면 1개로 가능하다.

표 1 실험에 사용한 전동기 규격을 보였다. 효성 3상 유도전동기에 회전자 다이캐스팅 전에 절연물질로 충전 하여 인위적인 고장을 발생시켰으며, 두 개의 회전자 바가 고장 난 회전자는 고장 바를 대칭으로 배열하였다.

표 1 전동기 사양

Table 1 Specification of a motor

Description	Value
Power	0.75 KW(1 HP)
Input Voltage	380 V
Full Load Current	2.2 A
Supply Frequency	60 Hz
Number of Pole	4
Number of Rotor Slot	44
Number of Stator Slot	36
Full Load Torque	0.43 kg · m

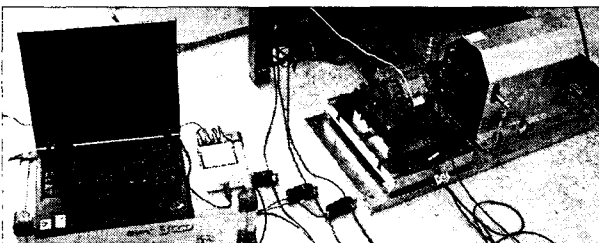


그림 3 실험장치

Fig. 3 Experimental apparatus

그림 3은 실험 장치의 사진이며, 입력 단에는 3상전류를 측정하기 위하여 Fluke사의 Current probe를 설치하였으며, NI USB-9215A DAQ 보드를 이용하여 전류 신호를 측정하였고, USB 포트를 이용하여 펜티엄 4 노트북으로 수집한 데이터를 보냈다. 수집된 데이터의 노이즈를 최소화하기 위해 프로그램으로 설계한 Low Pass Filter를 사용하였으며, FFT를 사용하여 주파수 특성으로 변환하였다. 실험용 전동

기와 다이노미터를 직결하여 부하별 특징주파수의 진폭변동을 측정하였다.

그림 4와 그림 5는 LabVIEW로 프로그램한 회전자 바 고장 진단 프로그램의 프론트 패널과 이 패널을 보이기 위한 블록다이어그램이다. 고장진단 프로그램은 플레이/포즈 버튼을 이용하여 실행할 수 있도록 하였으며, 측정오류를 최소화하기 위하여 프로그램은 10번의 FFT를 수행하여 평균값을 산출하도록 하였다.

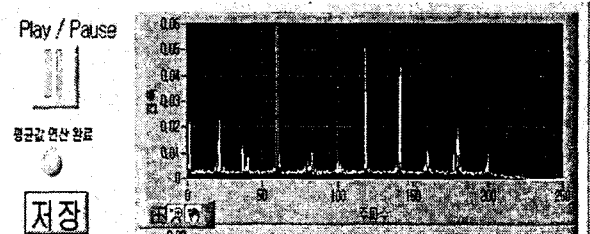


그림 4 랩뷰의 프론트 패널

Fig. 4 Front panel of LabVIEW

수집된 데이터를 저장할 수 있도록 저장 버튼을 프론트 패널에 추가하였으며, 부하별로 달라지는 특정 주파수대역을 확대하여 보기위한 특정 주파수 범위 확대 기능을 주파수 그래프 아래에 추가적으로 아이콘으로 배치하였다.

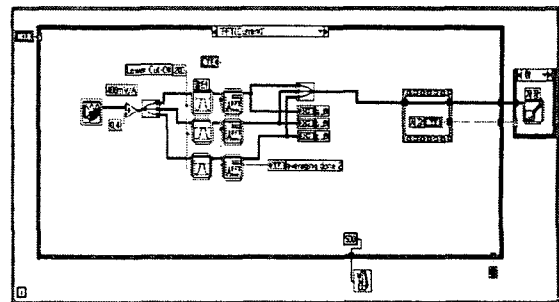
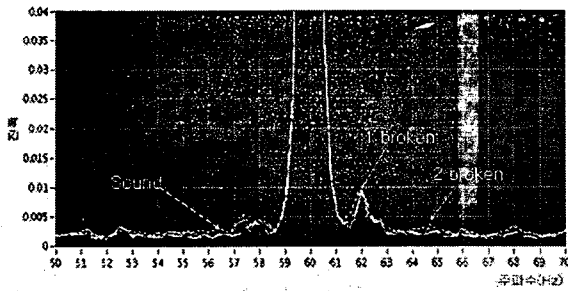


그림 5 랩뷰의 블록다이어그램

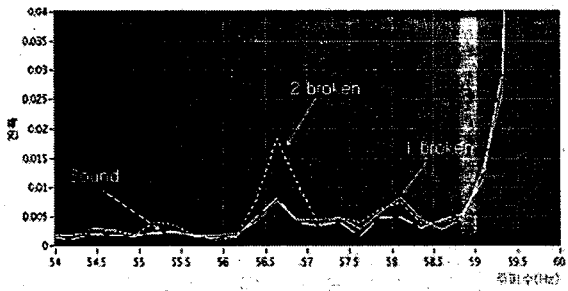
Fig. 5 Block diagram of LabVIEW

그림 6은 정상상태와 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar 고장의 특징 주파수를 보여주고 있는 그래프이다. 프론트 패널에 있는 특징 주파수 주변의 특징 주파수를 확대하여 보기 위한 특정 주파수 확대기능을 이용하여 얻은 그래프이다. 식(2)에 의하여 얻은 무부하 상태에서의 특징주파수는 59.2Hz대역으로서 공급주파수와 중복 되어 고장을 식별하기가 어렵다. 50%부하에서는 56.7Hz대역에서 특징주파수가 나타나는데, 정상상태와 1 Broken rotor bar에서의 식별은 어렵지만, 2 Broken rotor bar에서는 진폭이 차이가 많이 나므로 쉽게 확인을 할 수가 있다.

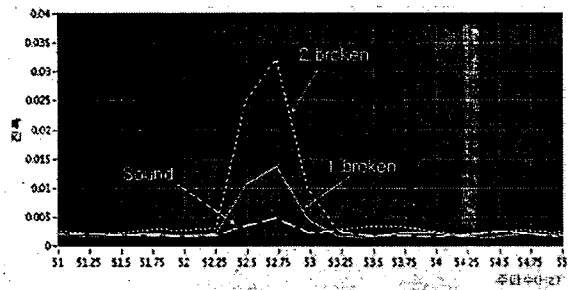
100%부하는 52.75Hz대역에서 특징주파수가 나타나며 정상상태와 비교하여 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar의 진폭에 큰 차이가 나타나며 동일 주파수에서 고장 검출이 가능함을 알 수가 있다.



(a) No load



(b) Half load



(c) Full load

그림 6 정상, 1바, 2바 고장의 부하별 FFT 비교

Fig. 6 Comparison of FFT spectrums with load change change for sound, 1 broken rotor bar and 2 broken rotor bar

4. 결 론

본 논문에서는 저 비용의 USB-DAQ 보드와 NI사의 LabVIEW를 이용하여 휴대가 가능한 3상 소형 유도전동기의 회전자 바 고장을 실시간으로 효율적으로 진단할 수 있는 고장 진단 시스템을 제안하였다. 제안된 진단시스템은 특정 주파수 대역 확대기능을 부가하여 특정주파수 부근을 확대하여 정상 전동기와 진폭을 비교함으로써 고장진단이 용이하며, 저장버튼에 의해 손쉽게 데이터를 저장하고 온라인 모니터링 및 고장검출이 가능하도록 하였다. 실험을 통하여 무부하와 50% 부하 보다는 100% 부하에서 정상상태와 비교하여 큰 진폭의 차이가 나타남으로 고장 검출이 용이하고, 1개 또는 2개의 회전자 바가 절단된 경우라도 특성 주파수에서 진폭을 비교함으로써 회전자 바 고장 검출이 가능함을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 순천대학교 공과대학 학술재단 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 박상진, 장정환 외, "기전연성계 해석을 이용한 단상 유도전동기의 회전자 결함진단에 관한 연구," 한국소음진동공학회 2000년도 추계학술대회논문집 pp. 802-808, 2000
- [2] Z. Janda et al. "New approach for broken rotor bars detection in induction motors", ICEM'94 proceeding, pp.6-10.
- [3] 장현호, "LabVIEW 그래픽 프로그램의 이해", A.D.C 씨스템, 1998
- [4] 김창엽, 정용배, "유한요소법을 이용한 농형유도전동기의 회전자 불량 진단에 관한 연구" 한국자기학회지 6권 5호, pp. 287-292, 10월 1996년
- [5] G. B. Kliman, R. A. Koegl, J. Stein, R. D. Endicott, M. W. Madden, "Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors", IEEE Trans. Energy Conv. vol. EC-3, No. 4, pp. 873-879, December 1988.
- [6] W. T. Thomson, and M. Fenger, "Current signature analysis to detect Induction Motor Faults", IEEE Ind. Applicati. Magazine, pp.26-34, July/August 2001.
- [7] M. E. H. Benbouzid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for fault detection", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 47 pp. 984-993, 2000

저 자 소 개



송명현 (宋明現)

고려대 전기공학과 졸업 공박. 1977년~1981년 삼성전자(주) 모터설계. 1988년~현재 순천대 전기제어공학과 교수.

Tel : 061-750-3542

E-mail : mhson@sunchon.ac.kr



박규남 (朴奎南)

전남대 전기공학과 졸업 공박. 1984년~현재 순천대 전기제어공학과 교수.

Tel : 061-750-3541

E-mail : knpak@sunchon.ac.kr



한 등 기 (韓 東 奇)

1978년 9월 22일생. 2005년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2005년~현재 동대학원 석사과정.

Tel : 061-752-4928

E-mail : sfc78@mail.sunchon.ac.kr



이 태 훈 (李 泰 勳)

2004년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2006년 동 대학원 석사과정 졸업. 2006~현재 테스트메이션(주).

Tel : 031-743-8378

E-mail : bluetaehun@hotmail.com



우 혁 재 (禹 奕 在)

1996년 순천대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 석사. 동대학원 박사수료. 2004~현재 서울마린(주).

Tel : 061-745-7808

E-mail : tkbworld@hotmail.com