

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

이태훈, 한동기, 송영현, 박규남
 순천대학교 전기제어공학과

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

Tae-hun Lee, Dong-gi Han, Myung-hyun Song, Kyu-nam Park
 Dept. of Electrical Control Eng., Sunchon National University

Abstract - 본 논문에서는 LabVIEW를 이용한 휴대용 3상 유도전동기 회전자 바 고장 진단 시스템을 개발하였다. LabVIEW는 NI사에서 개발한 그래픽 프로그래밍 언어로서 VI(Virtual Instrument)기술을 이용하여 계측, 분석, 표현 프로그램에 최적화된 언어이다. 유도전동기의 입력단에 Current Probe를 연결하여 전류를 측정하였고, NI사의 USB-DAQ보드를 이용하여 데이터를 수집한 후 노트북 컴퓨터에서 실행되는 LabVIEW 프로그램에 의해 고장을 진단할 수 있는 실시간 휴대용 진단 시스템을 개발하였다. 회전자 바에 고장이 일어나면 선 전류의 불균형, 손실 증가, 토크맥동과 평균 토크의 감소를 가져올 수 있다. 고장 진단 방법으로는 회전자 바 고장의 특징 주파수를 찾아 진단하는 방법이 있다. 회전자 바 고장에 대하여 1개와 2개 바를 절단한 회전자를 사용하여 각각 실험하였으며, FFT 분석에 의하여 실시간으로 유도전동기 회전자 바 고장을 진단할 수 있음을 보였다.

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. 시동과 같은 과도 상태 운전 중의 고열과 원심력에 관련이 있으며, 결함이 있는 주물(들) 또는 제작과정 중의 바와 엔드링 사이에서 결함이 발생한다.[1]-[2]

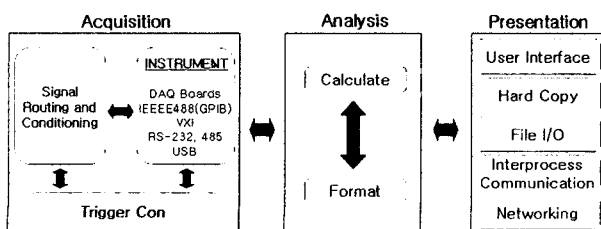
가상 계측(Virtual Instrument, VI) 기술개발은 컴퓨터산업의 성장과 밀접한 관계를 가지고 있다. 지난 기간 마이크로프로세서 칩과 소프트웨어 기술은 대단한 발전을 하게 되었으며, 주변기기 지원과 컴퓨터 기반 기술을 위한 접속장치와 같은 다양한 기준을 확립시켰다. 계측기 제작자가 정의한 고전적인 계측 장비와 달리 LabVIEW의 VI는 온도 모니터링, 멀티 미터, strip 차트 레코더, 디지털화, 시그널 분석 등의 다양한 디바이스로 변경해서 재사용할 수 있다. 또한 개방적인 구조로 이루어져 있고, 혁신의 개발 환경 및 모듈을 사용할 수 있고, 재 사용이 가능한 모듈로 구성되므로 개발 및 유지 보수가 용이하다.[3]

USB(Universal Serial Bus)는 많은 주변기기들이 채택하고 있는 접속 방법으로서 PC 주변기기와 연결하기 쉽고 간편한 방법이다. 본 실험에서는 USB를 이용한 NI사의 DAQ보드를 사용하였고, 노트북과 연결하여 휴대하기 편리한 3상 유도전동기 회전자 바 고장 진단 시스템을 제작하였다.

본 논문에서는 회전자 바의 제작시 고장을 다이캐스팅 과정중에 이물질이 주입하여 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar, Sound motor에 대한 3가지를 실험하였고, LabVIEW를 이용하여 휴대용 3상 유도전동기 회전자 바 고장을 실시간으로 진단할 수 있는 시스템을 개발 하였다.

2. 본 론

2.1 LabVIEW



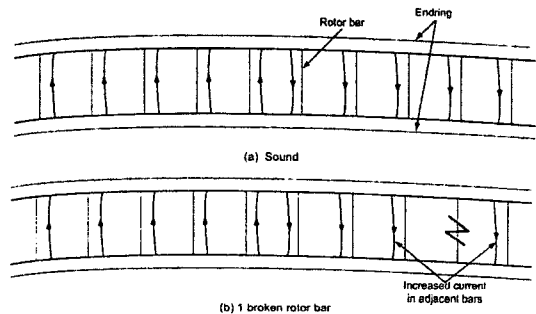
<그림 1> Integral part of LabVIEW

LabVIEW는 <그림 1>과 같이 수집, 분석, 표현의 3부분으로 구성되어 있으며, 하드웨어로 연결하여 사용자와의 인터페이스에 최적화되어 있다. 이는 프로그램상에서의 설정만으로도 데이터 측정이 가능하다는 것을 의미하며, VI를 이용하여 분석에서 표현까지 PC에서 처리할 수가 있다.

LabVIEW는 프론트 패널과 블록 다이어그램으로 구성되어 있으며, 블록 다이어그램은 실제적으로 프로그래밍이 이루어지는 곳으로서, LabVIEW의 프로그램은 VI와 와이어의 연결로 이루어져있으며, 와이어를 통한 데이터 흐름으로 프로그램은 진행이 된다. Front Panel은 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> Current pattern of induction motors

회전자 바 결함에 의해 나타나는 이러한 현상은 회전자 전류에 의해 발생하는 자계의 비대칭을 초래하여 공극 이상을 발생시킨다. <그림2>의 정상 상태(a)와 회전자 바 고장(b)와 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 수가 있다.

회전자 바의 고장은 고정자측 공급전류에서 서로 다른 주파수 성분들을 발생시킨다. 왜냐하면 손상된 회전자 바의 결과로서 회전자 회로에 비대칭으로 인해 주파수 ω_1 에서 회전자 전류는 정상과 역상 회전자 기자력(magnetomotive force: mmf)을 발생시키기 때문이다.

회전자 고장은 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)와 같은 회전자 바 결함 주파수 성분을 이용하여 회전자 바 고장을 검출할 수 있다.

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

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 측파대

에서 발생한다고 알려져 있다. 실제로, 선전류 스펙트럼상의 회전자 바 고장의 특성 주파수는 식 (2)와 같이 전기적 공급 전류 주파수 주변의 새로운 측파대에서 순차적으로 발생한다.

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

여기서, $k = 1$ 일때, $f_b = (1 \pm 2s)f_c$ 이며, $(1 - 2s)f_c$ 성분(the 1st lower sideband: LSB1)은 회전자 바 고장으로 인하여 발생하게 되고, $(1 + 2s)f_c$ 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.

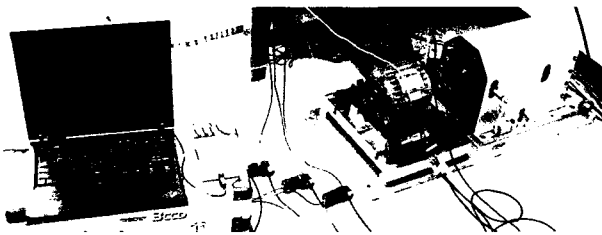
$$s = \frac{N_s - N}{N_s}, \quad N_s = \frac{120f_e}{p} \quad (3)$$

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 검출할 수 있다.

본 논문에서는 회전자 고장을 검출하기 위하여 식(2)의 여러 측파대 성분들 중에서 진폭이 다른 측파대에 비하여 큰 성분, $(1 \pm 2s)f_c$, LSB1과 USB1 성분을 이용하여 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다.

3. 실험 및 고찰

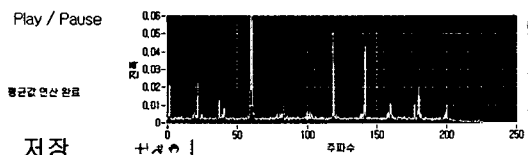
각 부하별 회전자 바 고장의 특징 주파수를 찾아 진폭을 살펴보았다. <그림 3>은 실험 장치의 사진이며, 입력단에는 3상 전류를 측정하기 위하여 Fluke사의 Current probe를 설치하였으며, NI USB-9215A DAQ 보드를 이용하여 전류 신호를 측정하였고, USB 포트를 이용하여 팬티엄 4 노트북으로 수집한 데이터를 보았다. 프로그램적으로 수집된 데이터의 노이즈를 최소화하기 위해 Low Pass Filter를 사용하였으며, FFT를 사용하여 주파수로 변환하였다.



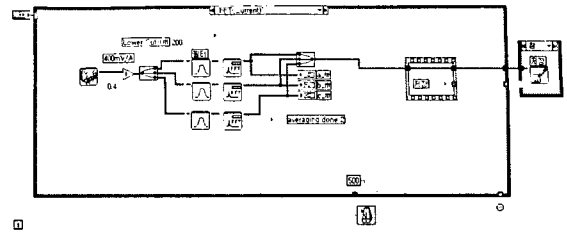
<그림 3> 실험 장치

<그림 4>와 <그림 5>는 회전자 바 고장 진단 프로그램의 프론트 패널 블록다이어그램이다. 고장진단 프로그램은 플레이/포즈 버튼을 이용하여 실행할 수 있도록 하였으며, 측정오류를 최소화하기 위하여 프로그램은 10번의 FFT를 수행하여 평균값을 산출하도록 하였다. 수집된 데이터를 저장할 수 있도록 저장 버튼을 프론트패널에 추가하였으며, 특정 주파수대역을 확대 특정 주파수를 확대 하여 나타낼 수 있도록 그래프아래에 추가적으로 아이콘들을 배치하였다.

<그림 6>은 정상상태와 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar 고장의 특징 주파수를 보여주고 있는 그래프이다. 무부하상태에서의 특징주파수는 59.2Hz대역으로서 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 확인할 수 있다.

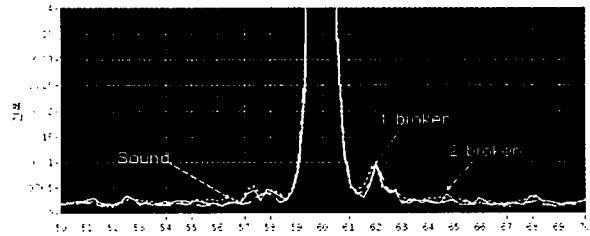


<그림 4> LabVIEW의 프론트 패널

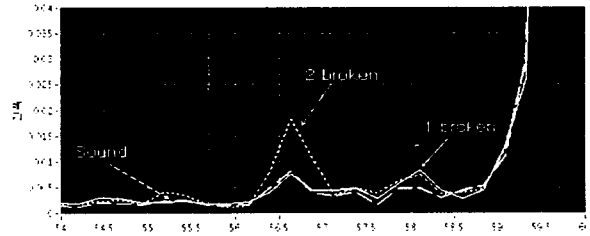


<그림 5> LabVIEW의 블록다이어그램

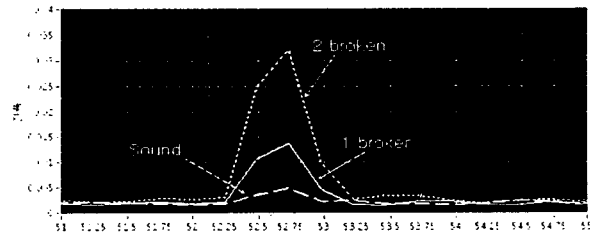
100%부하는 52.75Hz대역에서 특징주파수가 나타나며 정상상태와 비교하여 1 broken rotor bar, 2 broken rotor bar의 진폭에 큰차이가 나타남을 알 수가 있다.



(a) No load



(b) Half load



(c) Full load

<그림 6> FFT analysis of Sound, 1 broken rotor bar and 2 broken rotor bar

4. 결 론

본 논문에서는 저 비용의 USB-DAQ 보드와 NI사의 LabVIEW를 이용하여 실시간으로 휴대가 가능한 3상 유도전동기의 회전자 바 고장을 효율적으로 진단할 수 있는 고장 진단 시스템을 제안하였다. 무부하상태보다는 100%부하상태에서 정상상태와 비교하여 큰 진폭의 차이가 나타남으로 1개 또는 2개의 회전자 바가 절단된 경우 라도 회전자 바 고장의 검출이 용이하게 이루어 질 수 있음을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 박상진, 장정환 외, "기전연성계 해석을 이용한 단상유도전동기의 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 시스템, 1998