

## LabVIEW를 이용한 유도전동기 고정자 권선 고장진단시스템

송명현, 박규남, 이태훈, 한동기, 박경한  
순천대학교 전기제어공학과

### Stator winding faults diagnosis system of induction motor using LabVIEW

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

**Abstract** - This paper presents a stator winding fault diagnosis technique of induction motor on the PC - based virtual instrumentation system designed using the graphical programming language LabVIEW. This method collects the 3-phase current signals using the current probe amplifier and PXI/DAQ system then the preprocessing removes the noise using LPF, after then this method transforms the stator current to Park's vector and obtains the each Park's Vector pattern and detects stator winding fault by comparing the obtained faulted pattern with the healthy pattern. This proposed LabVIEW based diagnosis system is applied to the 3 phase 1 hp induction motor and obtained the reasonable results under no load condition. The test results give us the possibility a simple and realistic on-line winding fault diagnosis system.

#### 1. 서 론

유도 전동기는 많은 전기 기기나 산업공정에서 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. 고정자 권선의 절연 파괴 및 베어링 고장이 전체 고장의 78% 이상이며, 나머지는 유지보수 미비, 운전과실 등에 따른 고장이 차지하고 있다.

PC를 사용한 산업 자동화는 최근에 개인용 컴퓨터의 성능과 연결성이 발달함에 따라 프로세스 자동화, 공장자동화, MMI(Man-Machine Interface), SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition), DAQ(Data Acquisition), 통계적 프로세스 컨트롤, 실험실 자동화, 기계 컨트롤 및 기계적 비전 등의 광범위한 자동화 영역에 사용되고 있다. 최근의 인터넷 과 통신 기술의 발달은 좁은 지역에서의 통신으로 압력, 유량등의 다양한 각종 신호를 측정하거나 제어를 할 수 있었던 범위를 인터넷이 연결된 어디에서나 할 수 있도록 만들어 주었다.[1]

가상 인스트루먼트(Virtual Instrument VI 기술개발은 컴퓨터산업의 성장과 밀접한 관계를 가지고 있다. 지난 기간 마이크로프로세서칩 과 소프트웨어 기술은 대단한 발전을 하게 되었으며, 주변기기 지원 과 컴퓨터기반 기술을 위한 접속장치와 같은 다양한 산업 기준을 확립시켰다. 가상장치는 학교연구소, 국가연구기관 그리고 회사의 연구소 와 개발센터 제조업, 자동차, 비행기, 의학 그리고 생명과학 에서 광범위하게 적용이 된다.[1]-[3] 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, 최신의 개발 환경 및 툴을 사용할 수 있고,

재 사용이 가능한 모듈로 구성되므로 개발 및 유지 보수가 용이하다.[1]-[3]

고전적인 계측장비는 다양한 하드웨어적인 요소와 결합이 되어서, 데이터 수집, 분석, 디스플레이를 하였다.

VI는 이러한 요소들을 하나의 시스템, 즉 PC에서 모두 가능하게 만들어 주기 때문에 생산성을 늘릴 수 있었으며, 시간을 절감할 수 있는 효과를 가져왔다.

따라서, 본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 유도전동기 고정자 권선 고장을 실시간으로 진단할 수 있는 VI 시스템을 개발 한다.

#### 2. LabVIEW

LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)는 그래픽으로 프로그램을 작성할 수 있는 프로그램 언어이다. 고전적인 프로그램언어에 있는 포인터, 메모리 할당등을 사용할 필요없이 프로그램을 할 수 있도록 LabVIEW는 광범위한 함수와 라이브러리를 제공하며, 실행할 때 사용자에게 보여주는 출력은 사용자가 원하는 어떠한 형태로든 표현할 수 있다. 또한, LabVIEW 프로그램은 여러 종류의 컴퓨터와 OS(Operating System)에서 사용이 가능하므로, 대부분의 응용프로그램은 프로그램 수정 없이 재사용이 가능하다. LabVIEW는 사용자에게 보여주는 창인 Front panel 과 프로그램을 작성할 수 있는 Block diagram으로 구성되고, LabVIEW는 사용자와 친근한 그래픽 기반 프로그래밍을 제공하여 다양한 이점을 주고 있다. 텍스트 명령어를 대신한 그래픽 아이콘들은 drag and drop으로 간단하게 결선을 할 수 있으며, 아이콘들의 조합만으로 측정과 분석함수를 정의 할수 가 있다. Graphic User Interface GUI 제공으로 간단하고, 직관적인 프로그램 작업을 할수 있게 되었다. 또한 subVI를 이용하여 텍스트 기반 프로그램이 외부프로그램을 불러오는것과 같은 효과를 내고 있다.

#### 3. Park's Vector

3상 전류의 변수( $i_A, i_B, i_C$ )로부터 파크 벡터의 성분( $i_d, i_q$ )으로 변환하는 식은 식(3.1), (3.2)와 같이 정의한다.

$$i_D = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)i_A - \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)i_B - \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)i_C \quad (3.1)$$

$$i_Q = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)i_B - \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)i_C \quad (3.2)$$

이상적인 조건에서의 파크벡터 성분은 다음 식과 같다.

$$i_D = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right) i_M \sin(\omega t) \quad (3.3)$$

$$i_Q = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right) i_M \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (3.4)$$

여기서  $i_M$  은 공급 전류의 최대값(A)을  $\omega$ 는 공급 각 주파수(rad/s)를  $t$  는 시간 변수(s)를 나타내고 있다.

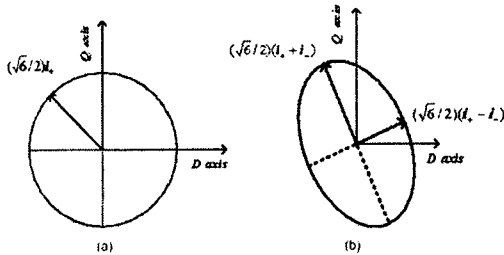


Fig. 1 Park's vector pattern  
(a) ideal case (b) fault case

위 식에 상응하는 그림은 좌표상의 원점에 중심을 둔 원 궤적이다. 정상 전동기의 경우는 완벽한 대칭전압이 공급되며, 전동기의 공급전류에는 단지 정상(positive-sequence)분( $i_+$ )만을 포함하게 된다. 이것은 Fig. 1 (a)와 같은 전류에 대한 파크 벡터의 궤적을 완벽한 원으로 만들어 낸다.

전동기의 고장자 권선에 턴 간 단락이 발생하면 공급 전류에는 비대칭 성분이 발생하게 된다. 이 경우 전동기의 공급전류는 정상분과 역상(negative-sequence)분( $i_-$ )의 합으로 표현이 된다. 이러한 두성분의 존재는 전류의 파크 벡터의 궤적이 Fig. 1 (b)와 같은 타원이 되도록 만든다. 장축의 길이는 직접적으로 전동기 공급 전류의 정상분과 역상분의 진폭의 합에 비례하며, 단축의 길이는 두 성분의 진폭의 차에 비례한다.

Park's Vector 방법을 이용한 고장자 권선 고장검출의 원리는 유도전동기 전류의 Park's Vector 표현에 따라 얻어진 독특한 패턴을 구별하는 것에 기초하고 있다.

#### 4. 실험 결과 와 검토

##### 4.1 시스템 구성

Fig. 2 는 실험장치 시스템의 구성을 보여주고 있다. 실험에 사용된 장비로는 NI 사의 PXI 시스템, Tektronix 사의 Current Probe와 증폭기를 사용하였으며, probe에는 AC 커플링을 사용하였다. 유도전동기는 60Hz, 1HP, 220/380V, 3.8/2.2A, 4극, 3상 농형유도전동기이며, 커플링으로 연결된 부하를 구동하도록 하였다.

NI사의 PXI 구성은 PXI-8186 controller, PXI-Scope 5122 2 대로 구성 되어있으며, 2 대의 PXI-Scope 5122 를 동기화하기 위하여 TC1k(T-CLOCK)을 사용하였다. 이 신호는 NI-TC1k 소프트웨어로 TC1k 신호 와 디바이스 수량을 자동으로 계산하여 준다. 디바이스 수량에 맞추어서 각 디바이스에 TC1k 신호를 보내주게 된다. 모든 디바이스의 TC1k측정값은 자동으로 선택되어진 디바이스의 레퍼런스 TC1k 측정값과 비교한다. 그리고 모든 디바이스 샘플시간과 TC1ks를 자동으로 정렬한다. 모든 디바이스와 정렬되어진 샘플시간, 트리거신호는 모든 디바이스의 마스터디바이스로부터 분산되어진다. [5]

필터링은 LabVIEW를 이용하여 400Hz 대역폭의 Butterworth LowPass Filter를 적용하였으며, 필터링을 거친 3상전류신호는 Park's Vector로 변환되었으며, 변환된

Park's Vector로부터 Park's Vector pattern을 구하고 고장여부를 바로 판단 할수 있게 화면으로 보여주도록 LabVIEW프로그램을 개발하였다.

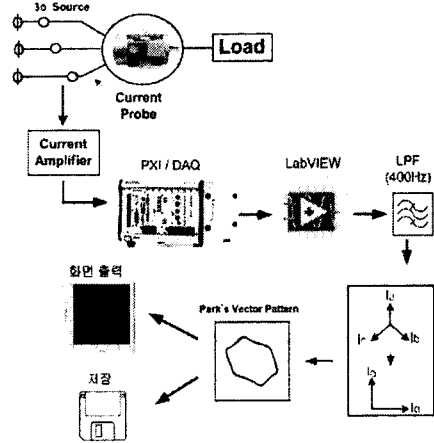


Fig. 2 Overall system composition

실험에 사용된 전동기는 최소 2턴에서 최대 68턴까지 턴단락 고장을 발생시킬 수 있도록 고장자 권선에 인위적인 탭을 가지고 있다.

##### 4.2 결과 및 검토

Fig. 3은 진단 모니터링에 필요한 데이터를 수집, 가공, 변환 그리고 진단을 위한 Main block diagram이다. 그림에서 블록 (1)은 데이터 수집과 NI-Scope 5122의

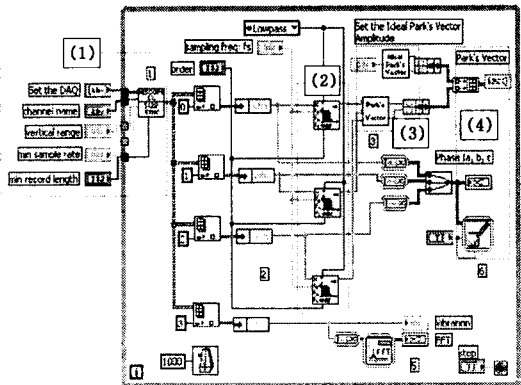


Fig. 3 Main block diagram

TC1k를 이용한 동기화 프로그램이 되어있는 subVI이다. 블록 (2)는 3상에서 받은 전류를 Lowpass 필터링하는 부분이며, Front panel에서 사용자가 필터링을 제어 할 수 있도록 되어있다. 블록 (3)은 이 논문에서 사용되어진 Park's Vector 알고리즘이 프로그램된 subVI이다. Ideal Park's Vector pattern을 기준으로 사용자가 쉽게 고장 패턴을 구분할 수 있도록 하였다. 블록 (4)는 사용자에게 결과값을 보여주는 그래프이다. 이 프로그램은 1000ms(1sec)마다 한번씩 진행되게끔 되어있으며, 실시간으로 연속적으로 실행되기 위하여 While-Loop를 사용하였다. While-Loop는 사용자가 정지신호를 프로그램에 줄때까지 혹은 시스템에 이상이 생겼을 경우 멈추게 된다.

##### 4.3 실험 결과

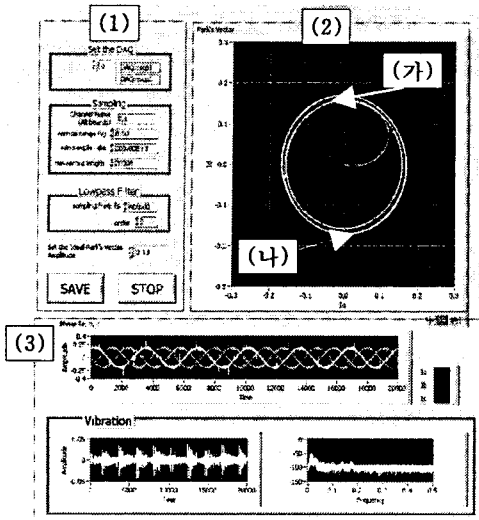


Fig. 4 Front panel

Fig. 4 는 사용자가 제어와 모니터링을 할 수 있는 화면이다. 블록 (1)은 디바이스, 샘플링, 필터링을 설정할 수 있는 부분과 Ideal Park's Vector pattern의 값을 조정할 수 있는 부분, 그리고 저장 버튼과 정지 버튼으로 이루어져 있다. 블록 (2)는 Park's Vector pattern을 보여주는 X-Y그래프이다. X축은 D축전류이며, Y축은 Q축전류를 나타내고 있다. 블록 (2)의 (가)는 Ideal Park's Vector pattern을 보여주고 있으며, 이 pattern을 기준으로 (나)의 시험용 전동기의 Park's Vector pattern과 비교하여 쉽게 사용자가 진단할 수 있다. 블록 (3)에서는 실시간으로 수집되는 3상전류파형과 진동 및 진동의 FFT를 보여주고 있다.

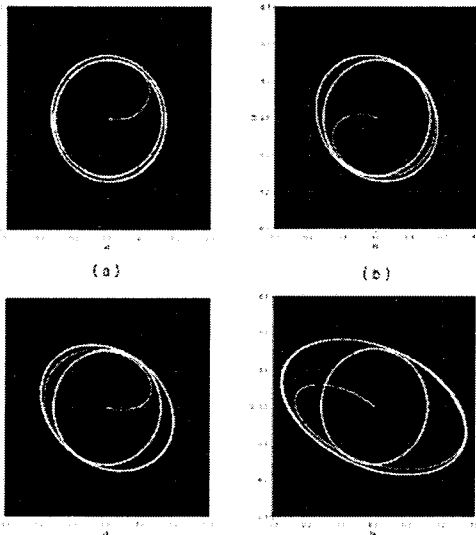


Fig. 5 Park's Vector pattern  
(a) Nomal (b) 6-turn shot  
(c) 10-turn shot (d) 20-turn shot

Fig. 5는 무부하 상태에서의 Park's Vector pattern을 보여 주고 있다. 공급전류가 정확한 사인파 곡선이 아니기 때문에, 이상적인 상태에서의 원형 궤적과는 차이가 있으나 원형 궤적 형태를 유지하고 있다. 단락 턴수가

증가 할수록 Fig. 5 (b)~(d)에서 볼 수 있듯이, 전류가 증가함으로 각 pattern들의 타원의 크기가 증가하고 있는 것을 알 수 있으며, 고장여부를 쉽게 구분 할 수 있다.

따라서, LabVIEW를 이용하여 실시간으로 Park's Vector pattern을 정상 pattern과 비교함으로써 타원의 장축과 단축으로부터 고장의 정도를 진단 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 개발과 확장성이 용이한 LabVIEW를 이용하여 Park's Vector를 구현함으로써 3상 유도전동기의 고정자 권선 고장을 실시간으로 판별할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

진단 모니터링 시스템을 GUI기반으로 구현함으로써 진단을 보다 편리하게 확인할 수 있도록 하였다.

향후 본 논문에서 개발한 시스템을 근간으로 다른고장까지 진단이 가능하도록 하고 시스템을 좀더 소형화하여 현장에 적용이 가능한 시스템을 개발하고자 한다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 장현호, LabVIEW 그래픽 프로그램의 이해, A.D.C 씨스템, 1998
- [2] Measurement and Automation Catalog, National Instruments, 2005
- [3] Changting Wang and Robert X. Gao, "A Virtual Instrumentation System for Integrated Bearing Condition Monitoring", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 49, NO. 2, pp. 325-32, APRIL 2000
- [4] LabVIEW 7 Express User Manual, National Instruments,, 2003
- [5] Lokesh Duraipappah and Chris Bartz, "National Instruments T-Clock Technology for Timing and Synchronization of Modular Instruments, National Instruments, 2004