

LabVIEW를 이용한 유도전동기의 권선고장 자동진단

한동기, 송명현, 박규남, 이태훈
 순천대학교 전기제어공학과

Auto-Detection of Stator Winding Fault of Induction motor using LabVIEW

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

Abstract - 본 논문에서는 유도전동기의 고장자권선 고장진단을 목적으로 이상적인 전동기의 전류신호와 실시간으로 운전하고 있는 전동기 전류신호를 Park's Vector에 각각 적용시켜 Park's Vector 패턴을 만들고 패턴 피크값의 기준치와 측정치의 편차를 이용하여 오차치를 벗어날 때 고장으로 진단하는 Park's Vector 패턴의 피크값을 이용한 고장자권선의 고장진단을 시도하였다. 숙달된 작업자가 Park's Vector 패턴을 보고 고장을 분석해야 했던 방법과는 달리 패턴을 비교하지 않고도 자동으로 고장을 진단하고 경보해주는 진단 방법을 제시하였다. 실제 전류분석 및 진단을 위해 상용 프로그램인 LabVIEW를 이용하였다.

1. 서 론

유도전동기는 구조적인 장점 때문에 많은 주요 기기의 구동장치로 산업 영역 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있다. 유도전동기의 갑작스런 고장은 구동장치를 사용하는 전체 시스템에 대한 신뢰도 및 안정성을 저하시키고 경제적인 손실을 초래할 뿐만 아니라 인명 피해의 위험 등 많은 문제를 발생시킬 수 있기 때문에 유도전동기에 대한 고장진단 및 감시에 관한 많은 연구가 수행되어왔다. 초기의 전기기기의 생산자와 사용자들은 신뢰할 수 있는 운전과 안전을 위해 과전류, 과전압 및 전지고장과 같은 간단한 차단장치에 의존해 왔다. 그러나 최근에 시스템이 복잡해지고 고속화됨에 따라 고장진단의 분야에서도 큰 발전을 이루게 되었다. 유도전동기의 상태진단과 고장상태에서의 동작에 대한 연구는 오래 전부터 진행되고 있다. 전동기의 고장은 비교적 오랜 기간의 약화과정을 거쳐 이루어짐으로 고장진행 초기에 또는 고장 발생 전에 전동기의 상태를 파악하고 진단하기 위해 많은 방법이 시도되었다. 그중 고장자 권선의 고장진단에 주로 사용된 방법으로는 전동기 고장자 전류 주파수 분석이나 진동 주파수 분석, [1][2] 고장자의 권선고장 및 고장 상 검출에 파크벡터를 이용한 방법[3][4], 전동기에 고장이 발생하였을 때의 비대칭 성분인, 역상 전류를 이용한 방법[5], 그리고 역상 전류 보다 외부 조건의 변화에 영향이 적은 역상 임피던스를 이용하는 방법[5][6], 인공신경망을 이용한 파크 벡터의 패턴인식[7], 고장자 전류를 이용한 인공 신경망 방법[8] 등이 있다. 이러한 유도전동기 고장자 권선 고장의 고장진단 방법들은 각 특성 주파수를 발견하는 것이 어렵고, 찾는다 할지라도 작은 턴 수의 고장에서는 정상과의 차이를 구별하기 어렵다는 점과 작은 단락 턴 수의 패턴이 정상 패턴과 구분이 되지 않는 점, 외부 환경에 영향을 많이 받고, 임피던스를 이용하는 경우 3상전류, 전압을 이용하기 때문에 측정 장치가 복잡해질 수 있고, 전압 불평형과 상 개방 고장에 국한되는 많은 단점들을 가지고 있다. 뿐만 아니라 숙달된 작업자가 직접 프로그램 조작을 통해 파크벡터 패턴을 만들어 고장진단을 해야 하므로 전문적인 지식이나 관련분야 종사자가 아닌 작업자가 고장진단을 하기란 너무 어려웠다.

따라서 본 논문에서는 상용 프로그램인 LabVIEW를 이용하여 실제 전류를 측정할 수 있는 방법들을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 파크 벡터 기법

3상전류의 변수(i_a, i_b, i_c)로부터 파크벡터의 성분(i_d, i_q)으로 변환하는 식은 식(2.1), (2.2)과 같이 정의한다.

$$i_d = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\right)i_a - \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)i_b - \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)i_c \quad (2.1)$$

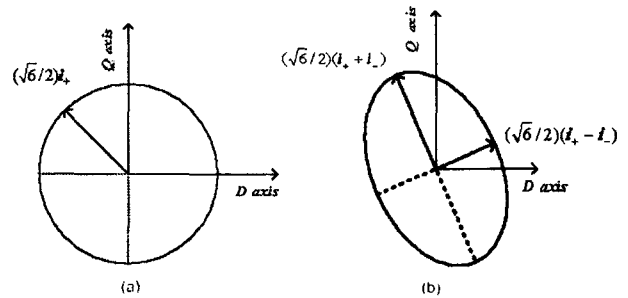
$$i_q = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)i_b - \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)i_c \quad (2.2)$$

이상적인 조건에서, Park's Vector 성분은 다음과 같다.

$$i_d = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right)i_m \sin(\omega t) \quad (2.3)$$

$$i_q = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right)i_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.4)$$

여기서, i_m : 공급전류의 최대값(A)
 ω : 공급 각 주파수(rad/s)
 t : 시간변수(s)



〈그림 1〉 파크 벡터 패턴
 (a) 이상적인 경우 (b) 고장자 권선 고장 경우

위 식에 상용하는 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 그림 1(a) 과 같은 전류에 대한 파크 벡터의 궤적을 완벽한 원으로 만든다.

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 표현된다. 이러한 두 성분의 존재는 전류의 파크 벡터의 궤적이 그림 1(b) 와 같은 타원이 되도록 한다. 장축의 길이는 직접적으로 전동기 공급전류의 정상과 역상분의 진폭의 합에 비례하며, 단축의 길이는 두 성분의 진폭의 차에 비례한다.

파크 벡터의 기법을 이용한 고장자 권선의 고장진단의 기본적인 원리는 단락된 턴 수가 증가할수록 공급 전류의 비대칭 성분이 증가한다. 유도전동기 전류의 Park's Vector 표현에 따라 얻어진 독특한 패턴을 구별하는 것에 기초하고 있다.

2.2 LabVIEW

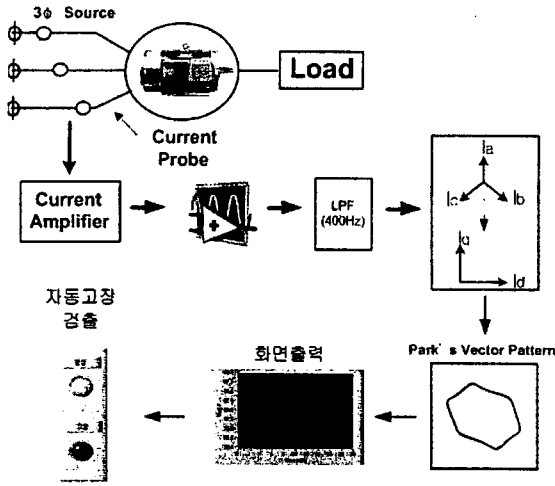
LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)는 그래픽으로 프로그램을 작성할 수 있는 프로그램 언어이다. 포인터, 메모리 할당 등이 필요 없이 프로그램을 할 수 있도록 광범위한 함수와 라이브러리를 제공하며, 실행할 때 사용자에게 보여주는 출력은 사용자가 원하는 형태로 표현할 수 있다. 텍스트 명령어를 대신한 그래픽 아이콘들은 drag and drop으로 간단하게 결선을 할 수 있고, 아이콘들의 조합만으로 측정과 분석기능을 정의 할 수가 있다. 또한 subVI를 이용하여 텍스트 기반 프로그램이 외부프로그램을 불러오는 것과 같은 효과가 있고, 사용자에게 보여주는 창인 Front panel과 프로그램을 작성할 수 있는 Block diagram으로 구성 되어 사용자와 친근한 그래픽 기반 프로그래밍을 제공한다. 마지막으로 Graphic User Interface(GUI) 제공으로 간단하고, 직관적인 프로그램 작업을 할 수 있는 등 다양한 이점이 있다.

3. 실험 및 검토

3.1 시스템 구성

유도전동기 고장자 권선단락을 위한 고장검출 시스템의 실험에 사용한 전동기는 표준 삼상 유도전동기로서 60Hz, 1HP, 220/380V, 3.8/2.2A, 4극, 3상 농형유도전동기이며, 커플링으로 연결된 부하를 구동하도록 하였다. 그림 2 는 실험장치의 구성 및 LabVIEW를 이용한 자동고장검출 알고리즘을 나타내고 있다. 인버터는 전압형 PWM 제어방식의 전동기 구동용 주파수 변환기를 사용하였고 전동기 회전속도를 측정하기 위하여 SUGAWARA사의 디지털 회전계(S-126X)를 사용하였다. 전류 측정을 위해 Tektronix사의 Current Probe와 증폭기를 사용하였으며, probe에는 AC 커플링을 사용하였다. LeCroy 9314A 오실로스코프를 이용하여 데이터를 수집한 후, RS-232

인터페이스를 사용하여 데이터를 PC에 전송하였으며 전송된 데이터의 분석 및 처리는 PC에서 수행하였다. 수집된 3상전류 데이터는 소프트웨어적으로 LabVIEW를 이용하여 400Hz 대역폭의 Butterworth LowPass Filter를 적용하였으며, 필터링을 거친 3상전류신호는 Park's Vector로 변환되었으며, 변환된 Park's Vector로부터 Park's Vector pattern을 구하고 패턴의 id, iq의 피크값을 구하였다. 패턴 피크값의 기준치와 측정치를 비교함수에 적용하여 나타나는 편차를 이용하여 자동으로 고장여부를 바로 판단 할 수 있게 화면으로 보여주도록 LabVIEW프로그램을 개발하였다.

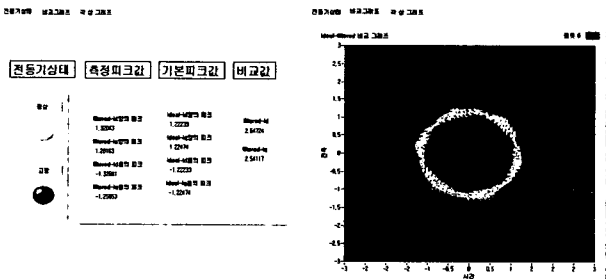


〈그림 2〉 시스템 구성도

본 논문에서 적용한 고장 진단 알고리즘은 먼저 간단한 권선 고장 진단 기법인 파크 벡터의 기법을 이용하여 정상, 2턴, 10턴 및 20턴 단락 고장 진단의 가능성을 부하 변화에 따라 검증하였다.

3.2 결과 및 검토

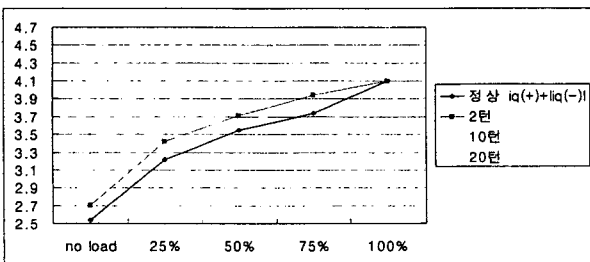
그림 3(a)는 수집된 3상 전류데이터를 이용하여 자동으로 고장을 검출하고 사용자가 모니터링 할 수 있는 화면이다. 그림에 보이는 측정 피크값은 필터링된 전류신호를 이용하여 Park's Vector로 변환하고, 변환된 Park's Vector로부터 Park's Vector pattern을 구하여 패턴의 id, iq 피크값을 나타내었다. 또한, 기본 피크값은 Ideal Park's Vector 패턴의 피크값을 보여주고, 비교값은 측정 피크값의 id, iq의 양의 피크값과 음의 피크값의 각 합을 나타내고 있다.



(a) 전동기 상태 (b) Park's Vector 패턴 비교
〈그림 3〉 프론트 패널

그림 3(b)는 Park's Vector 패턴을 보여주고 있는데, 흰색은 실제 전동기, 빨간색은 실제 전동기의 패턴과 비교하기 위한 Ideal Park's Vector 패턴이다. 숙달된 작업자가 아니면 패턴을 보고 고장여부를 판단하기가 어렵다.

〈표 1〉은 각 부하상태에 대한 전동기의 측정값을 보여주고 있는데, iq에서 정상일 때와 고장일 때 측정값의 차가 확실히 나타나고 있다.



〈그림 4〉 측정값 비교 그래프

더욱 확실한 차이를 나타내기 위해 iq 양의 피크값과 절대값을 취한 음의

피크값의 합을 이용하여 측정치를 만들었다. 그림 4는 측정값의 비교 그래프를 보여주고 있는데, 100%부하일 때에 정상과 2턴 고장의 측정값 차가 거의 없어 고장 판별이 어려웠다.

〈표 1〉 부하에 따른 전동기의 측정값

부하	전동기상태	id-max	iq-max	id-min	iq-min	id-max+id-min	iq-max+iq-min
무부하	정상	1.27578	1.24849	-1.32043	-1.29268	2.59621	2.54117
	2턴	1.21199	1.37002	-1.19929	-1.33687	2.41122	2.70689
	10턴	1.17371	1.48946	-1.17371	-1.44736	2.34743	2.91682
	20턴	1.17984	1.61309	-1.16121	-1.68833	2.34105	3.28142
25%부하	정상	1.48077	1.62414	-1.48629	-1.59099	2.94705	3.21513
	2턴	1.40336	1.73462	-1.44163	-1.69043	2.84499	3.42506
	10턴	1.42249	1.85616	-1.43525	-1.82301	2.85775	3.67918
	20턴	1.43325	2.02153	-1.44329	-2.01436	2.87654	4.03689
50%부하	정상	1.70316	1.78987	-1.69678	-1.75672	3.39994	3.54659
	2턴	1.60111	1.86721	-1.58835	-1.84511	3.18945	3.71232
	10턴	1.69041	2.03294	-1.65851	-1.99979	3.34892	4.03273
	20턴	1.70359	2.20369	-1.73925	-2.21092	3.44284	4.41481
75%부하	정상	1.84988	1.86721	-1.83712	-1.66721	3.687	3.73441
	2턴	1.71532	1.98874	-1.70317	-1.9556	3.41909	3.84333
	10턴	1.75419	2.08818	-1.76895	-2.09223	3.52115	4.18741
	20턴	1.79504	2.29351	-1.87956	-2.30021	3.6746	4.59372
100%부하	정상	2.09866	2.05604	-2.09227	-2.04398	4.19033	4.09902
	2턴	1.89453	2.06608	-1.90091	-2.03294	3.79544	4.09902
	10턴	1.79108	2.2539	-1.9647	-2.24286	3.93678	4.4976
	20턴	1.82251	2.35042	-1.92361	-2.33392	3.74612	4.68434

3. 결 론

본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 Park's Vector를 구현하고 Park's Vector pattern의 피크값을 이용하여 유도전동기의 고장자 권선 고장을 자동으로 판별할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 사용자가 쉽게 프로그램 할 수 있고 제어와 모니터링이 가능한 진단 모니터링 시스템을 GUI기반으로 구현함으로써 고장진단을 보다 편리하게 확인할 수 있도록 하였고, 기존의 숙련된 작업자가 모니터 앞에서 패턴의 변화를 보고 고장을 판별했던 진단 방법에서 숙련된 사람의 인식으로 하지 않고 입력된 값에 의해 자동으로 고장을 진단하여 누구나도 쉽고 빠르게 유도전동기 고장에 대처할 수 있도록 하였다. 앞으로 실용성 연구를 통하여 현장적용 문제를 해결하고 고정자 권선고장 뿐만 아니라 회전자고장과 베어링 고장도 자동으로 진단하는 프로그램을 개발하고자 한다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] S. Williamson, and K. Mirzorian, "Analysis of cage induction motors with stator winding fault," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-104, no. 7, pp.1838-1842, July 1985.
- [2] R. A. Leonhard, and W. T. Thompson, "Vibration and stray flux monitoring for unbalanced supply and inter-turn winding fault diagnosis in induction machines," British Journal of Nondestructive testing, pp.211-215, July 1986
- [3] A. J. M. Cardoso et al., "Inter turn stator winding fault diagnosis in three phase induction motors, by Park's Vector Approach," IEEE Trans. Ind Applicat., vol. 29 no.3, pp.595-598, Sept. 1999.
- [4] A. J. M. Cardoso et al., "Computer-aided detection of air gap eccentricity in operating three-phase induction motors by park's vector approach," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol 29, pp. 897-901, Sept./Oct. 1993.
- [5] G. B. Kliman, W. J. Premerlani, R. A. Koegl, and D. Hoeweler "A new approach to on-line turn fault detection in AC motors," Conference Records IEEE-IAS Annual Meeting, vol.1, pp.687-693, 1996.
- [6] Sang-Bin Lee, R. M Tallam, T. G Habetler, "A robust, on-line urn-fault detection technique for induction machines based on monitoring the sequence component impedance matrix", Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual , Volume 4, pp 2217-2223 17-21 June 2001.
- [7] Hamid Nejjari, Mohamed El Hachemi Benbouzid, "Monitoring and Diagnosis of Induction Motors Electrical Faults Using a Current Park's Vector pattern Learning Approach", IEEE Trans. Power Electron pp 730-735, 2000.
- [8] Filippetti, C, Franceschini, G, Tassoni, F, and Vas, P "Integrated condition monitoring and diagnosis of electrical machines using minimum configuration artificial intelligence" Proceedings of EPE97, 1997, Vol 2, pp. 983-988.