

Park's Vector 기법을 이용한 소형 3상 유도 전동기의 권선 고장 진단

한민관, 우혁재, 송명현, 박규남
순천대학교 전기제어공학과

Stator Winding Fault Diagnosis in Small Three-Phase Induction Motors by Park's Vector Approach

Min-kwan Han, Hyeok-jae Woo, Myung-hyun Song, Kyu-nam Park
ECE, Suncheon Nat'l Univ.

Abstract - 본 연구는 3상 소형 유도전동기의 고정자 권선 고장의 효과적인 진단을 위하여 고정자 전류에 대하여 Park's Vector를 이용한 기법을 적용하였다. 본 기법은 고정자 3상 전류를 측정하여 Park's vector 변환을 통하여 직축, 횡축 전류로 변환하고 이를 이용하여 고장 진단을 위한 Park's Vector Pattern을 통하여 고장진단을 수행하였다. 제안한 방법의 유용성을 확인하기 위하여 고정자 권선 한 상에 2턴, 10턴, 그리고 20턴의 단락고장을 발생시켜 정격부하의 25%, 50%, 100%에 대하여 부하변동에 따른 각각의 단락고장의 경우와 정상 전동기의 Park's Vector Pattern 비교하였으며 그 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

유도 전동기는 많은 전기 기기나 산업 공정에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 돌발적인 사태에 따라 인명 피해의 위험과 공장라인의 정지 등 많은 문제를 가지고 있기 때문에 예방 진단의 필요성이 크게 요구되고 있다.

유도 전동기의 고장 원인은 전기적인 결함, 기계적인 결함, 유지 보수 미비 등 3가지로 나눌 수 있으며, 고정자 권선의 절연 파괴 및 베어링 고장이 전체 고장의 78% 이상이며, 나머지는 유지보수 미비, 운전과실 등에 따른 고장이 차지하고 있다[1].

고정자 권선 고장은 대부분 절연 파괴와 관계가 있다. 턴 고장은 발견하기 힘든 고장 중에 하나이며, 턴 고장이 발생하면, 일정 기간 동안은 동작 할 것이나, 곧 더 큰 고장으로 발전하게 될 것이다.[2-3] 결과적으로, 치명적인 고장을 막기 위해서는 온-라인 진단 기술을 통해 초기에 턴 고장을 진단할 수 있어야 한다.

유도 전동기의 상태 진단과 고장 상태 동안의 동작에 대한 연구는 오래 전부터 진행되고 있다. 지금까지의 고정자 권선 고장 진단에 주로 사용된 방법으로는 진동, 누설 축 자속 그리고 고정자 전류의 스펙트럼을 관찰하는 방법[4-5], 권선 고장인 이상적인 모터에서 예상되는 증상을 모델링 한 방법[6-7], 모터가 고장났을 때의 비대칭 성분인, 역상 전류를 이용한 방법[8], 역상 전류보다 외부 조건의 변화에 영향이 적은 역상 임피던스를 이용하는 방법[8-9], 고정자 권선 고장 및 고장 상 검출에 Park's Vector를 이용한 방법[10-11], 인공 신경망이나 퍼지 제어 등의 인공 지능을 이용한 방법[12] 등이 연구되고 있다.

본 논문에서는 유도 전동기의 고정자 권선 고장 진단을 위한 방법으로 전류 Park's Vector 패턴을 이용한 방법을 소개하였으며, 단락 턴 수의 증가에 따른 패턴의 변화, 고장 상에 변화에 따른 패턴의 변화, 부하 변화에 따른 패턴의 변화에 대하여 논의하였다.

2. PARK'S VECTOR 방법

삼상 전류 변수(i_a, i_b, i_c)로부터 Park's Vector 성

분(i_d, i_q)은 식(1),(2)와 같다.[10-11]

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

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

이상적인 조건에서, Park's Vector 성분은 다음과 같다.

$$i_D = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right) i_M \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$i_Q = \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right) i_M \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (4)$$

여기서,

i_M 공급상전류의 최대 값(A)

ω 공급 각 주파수 (rad/s)

t 시간 변수 (s)

윗 식에 상응하는 그림은 좌표상의 원점에 중심을 둔 원 궤적이다. 정상 전동기의 경우는 완벽하게 대칭전압이 공급되고, 전동기 공급전류는 단지 정상(positive-sequence)분(i_+)만 포함하게 되고, 이것은 그림1과 같은 전류 Park's Vector 궤적을 일정한 크기로 만들어준다.

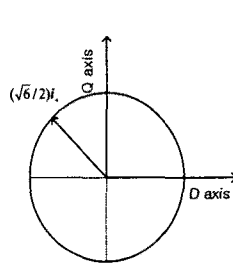


그림1. 이상적인 전류의 Park's Vector 표현

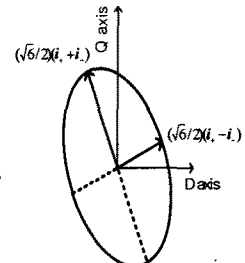


그림2. 비대칭 성분과 Park's Vector의 관계

전동기 고정자 권선에 턴 간에 합선이 생긴 상태에서 공급전류는 어느 정도 불균형을 나타낸다. 전동기 공급전류는 정상분과 역상(negative-sequence)분(i_-)의 합으로 표현된다. 이러한 두 성분의 존재는 전류 Park's Vector의 궤적이 그림2와 같이 타원이 되도록 한다. 장축의 길이는 직접적으로 전동기 공급전류의 정상과 역상분의 진폭의 합에 비례하며, 단축의 길이는 두

성분의 진폭의 차에 비례한다.

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

3 실험 결과 및 검토

3.1 실험 장치 구성

실험에 사용된 전동기는 60Hz, 1Hp, 220/380V, 3.8/2.2A, 4극, 36개의 고정자 슬롯, 44개 회전자 슬롯, 3상 농형 유도 전동기이다. 부하로써 직류 발전기를 사용하였다. Tektronix 사의 Current Probe와 증폭기를 사용하였고, LeCroy 9314A 오실로스코프를 이용하여 데이터를 수집하였다.

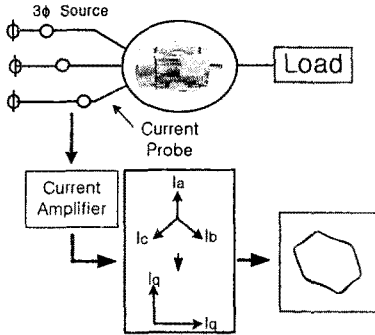


그림3. 실험 장치 구성

실험 전동기는 최소 2턴에서 최대 68턴까지 턴 고장을 발생시킬 수 있도록 고정자 권선에 인위적으로 탭을 내어 실험하였다.

그림3은 실험 장치 구성을 나타내고 있으며, 3상의 고정자 전류를 받아들여 삼상의 전류를 Park's Vector로 변환하여 각각의 전동기 상태에 대한 패턴을 모니터링 한다.

3.2 실험 결과

우선 기준 Park's Vector 패턴을 정하기 위해 정상 무부하의 전동기를 실험하여 그림4와 같은 Park's Vector 패턴을 얻었다.

공급 전압이 정확한 사인 곡선이 아니기 때문에, 그림4 (a)의 Park's Vector 패턴은 이상적인 상태에서의 원형 궤적과는 다른 것을 볼 수 있다.

3.2.1 고장 턴 수 증가에 따른 변화

고장 턴 수의 증가에 따른 Park's Vector 패턴의 변화를 살피기 위해 무 부하 상태에서 2턴, 10턴, 그리고 20턴 단락 고장 일 때에 각각 실험하였다.

그림4 (a)의 기준 Park's Vector 패턴과 비교하여 볼 때 고정자 권선의 단락 턴 수가 증가 할 수록 그림4 (b) ~ (d)에서 볼 수 있듯이 각 패턴들의 타원율이 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

Park's Vector 패턴의 타원율로써 고장의 심각성을 알 수 있다.

3.2.2 고장 상의 변화에 따른 Park's Vector 패턴

Park's Vector 패턴과 권선 고장이 발생한 상과의 관계를 알아보기 위한 실험을 하였다. 패턴의 방향성을 쉽게 보이기 위해 무 부하 상태에서 각의 상의 20턴 단락 고장을 실험하였다.

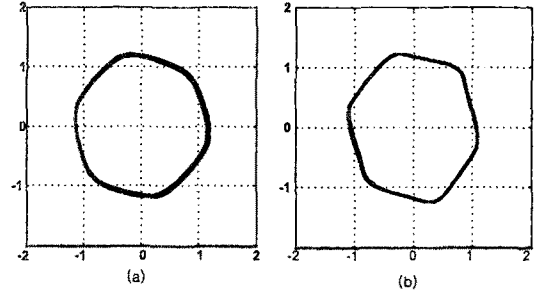


그림4. 고장 턴 수 변화에 따른 Park's Vector 패턴의 변화. (a) 정상 모터, (b) 2턴 단락 고장, (c) 10턴 단락 고장, (d) 20턴 단락 고장

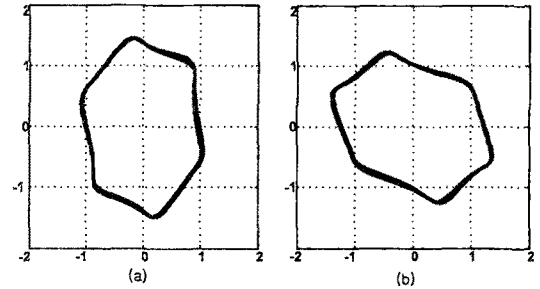


그림5. 고장 상에 따른 Park's Vector 패턴의 변화. (a) A상 20턴 단락 고장, (b) B상 20턴 단락고장, (c) C상 20턴 단락고장

고장 상에 대한 영향은 그림5에서 볼 수 있듯이 Park's Vector 패턴들의 방향이 각 상에 따라 일정한 방향을 가지고 변하는 것을 볼 수 있다.

3.2.3 부하 증가에 따른 Park's Vector 패턴 변화

부하 증가에 따른 Park's Vector 패턴의 변화를 살펴 보기 위해 10턴 단락 고장에서의 무 부하, 25%, 50%, 그리고 100% 부하를 실험하였다.

부하가 증가함에 그림6에서 볼 수 있듯이 전류의 크기가 증가하여 패턴의 반경은 증가하나, 무 부하 일 때와 비교하여 패턴의 기본 모양은 그대로 유지하고 있는 것을 볼 수 있다.

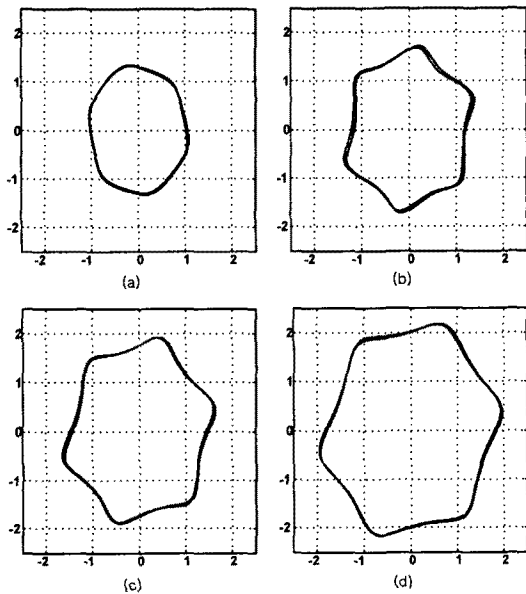


그림 6 부하 변화에 따른 Park's Vector 패턴의 변화.
(a) 10턴 단락 고장 무 부하, (b) 10턴 단락 고장 25% 부하, (c) 10턴 단락 고장 50% 부하, (d) 10턴 단락 고장 100% 부하

4. 결 론

본 논문에서는 전류 Park's Vector 모니터링을 이용해 3상 유도 전동기의 고정자 권선의 고장을 판별할 수 있다는 것을 보였다.

위의 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

Park's Vector 패턴은 단락 턴 수가 증가할수록 패턴의 타원율이 증가함을 보였다. 이것은 패턴으로 고장의 심각성을 파악할 수 있음을 보여준다. 그리고 고장 상이 변화함에 따라 패턴의 방향이 일정한 방향을 가지고 회전하는 것을 볼 수 있었다. 마지막으로 부하가 증가함에 따라 패턴의 기본 모양은 유지하면서, 전류 증가에 따라 반경이 커지는 것을 볼 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] W.T. Thomson, Mark Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults", IEEE Industry Application Magazine, pp. 26-34, July/Augst 2001
- [2] A.H. Bonnett, and G.C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failues in three-phase squirrel-cage induction motors", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, no.4, pp. 921-937, July/Jugust 1992
- [3] S. Williamson, and K. Mirzoian, "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

[4] J. Penman, H.G. Sedding, B.A. Lloyd, and W.T. Fink, "Detection and location of interturn short circuits in the stator windings of operating motors," IEEE Transactions of Energy Conversion, vol.9 no.4 pp.652-658, December 1994

[5] 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

[6] F.Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni, A. Omettoand, and S. Meo, "A simplified model of induction motor with stator shorted turns oriented to diagnostics," Proceedings of the International Conference on Electrical Machines, vol. 3, pp. 410-413, 1996.

[7] R.M. Tallam, T.G. Habetler, and R.G. Harley, "Transient model for induction machines with stator winding turn fault," Conference Records of IEEE-IAS Annual Meeting, vol. 1, pp.304-309, October 2000

[8] 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

[9] J. Sottile, and J.L. Lohler, "An on-line method to detect incipient failure of turn insulation in random-wound motors," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 28, no.5 pp. 1109-1117, September/October 1992

[10] A. J. M. Cardoso et al., "Inter turn stator winding fault diagnosis in threephase induction motors, by Park's Vector approach," IEEE Trans. Ind Applicat., vol. 29 no.3, pp.595-598, Sept. 1999

[11] A.J.M. Cardoso et al., "Computer-aided detection of airgap eccentricity in operating three-phase induction motors by park's vector approach," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol 29, pp. 897-901, Sept./Oct. 1993

[12] 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