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

박규남* · 한민관* · 우혁재* · 송명현*

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

Kyu-nam Park* · Min-kwan Han* · Hyeok-jae Woo* · Myung-hyun Song*

요 약

본 연구는 3상 소형 유도전동기의 고정자 권선 고장의 효과적인 진단을 위하여 고정자 전류에 대하여 Park's Vector 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 얻어 정상 상태 패턴과 고장 권선 패턴을 비교하였다. 고정자 권선 한 상에 2턴, 10턴, 그리고 20턴의 단락고장을 발생시켜 정격부하의 25%, 50%, 100% 부하변동에 따른 각각의 Park's Vector Pattern을 비교하여 얻은 실험 결과는 제안한 방법의 유용성을 보여준다.

ABSTRACT

This paper deals with efficient diagnostic for stator winding fault of 3-phase induction motor using a current Park's vector approach. This method firstly transforms 3-phase stator current to vertical axis current and horizontal axis current of Park's Vector, and then obtains the each Park's Vector Pattern and detects stator winding fault by comparing to Park's Vector Pattern of healthy and fault. Experimental results, obtained by using induction motor having inter-turn fault of 2, 10, 20 turn, demonstrate the effectiveness of the proposed technique, for detecting the presence of stator winding fault under 25%, 50%, and 100% of full load condition.

키워드

induction motor, stator winding fault, Park's vector, Park's Vector pattern

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 유도 전동기 예방 진단의 필요성이 크게 요구되고 있다.

유도 전동기의 고장 원인은 전기적인 결함, 기

계적인 결함, 유지 보수 미비 등 3가지로 나눌 수 있다. 고정자 권선의 절연 파괴 및 베어링 고장이 전체 고장의 78% 이상이며, 나머지는 유지 보수 미비, 운전과실 등에 따른 고장이 차지하고 있다[1].

고정자 권선 고장은 대부분 절연 파괴와 관계가 있다. 턴 고장은 발견하기 힘든 고장 중에 하나

* 국립순천대학교 전기공학과

접수일자 : 2003. 8. 26

이며, 턴 고장이 발생하면, 일정 기간 동안은 동작할 것이나 곧 더 큰 고장으로 발전하게 될 것이다.[2-3] 따라서, 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 진동과 누설 축 자속 그리고 고정자 전류의 스펙트럼을 관찰하는 방법[4-5], 권선 고장인 이상적인 모터에서 예상되는 증상을 모델링한 방법[6-7], 모터가 고장났을 때의 비대칭 성분인 역상 전류를 이용한 방법[8], 역상 전류 보다 외부 조건의 변화에 영향이 적은 역상 임피던스를 이용하는 방법[8-9], 고정자 권선 고장 및 고장 상검출에 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.

II. PARK'S VECTOR APPROACH

삼상 전류 변수(i_a, i_b, i_c)로부터 Park's Vector 성분(i_d, i_q)은 식(1),(2)와 같다.[10-11]

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

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

이상적인 조건에서, Park's Vector 성분은 다음과 같다.

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

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

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, 따라서 전동기 공급전류는 단지 정상(positive-sequence)분(i_+)만 포함하게 되어, 이것은 Fig.1과 같은 전류 Park's Vector 궤적을 일정한 크기로 만들어준다.

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 Fig.2와 같이 타원이 되도록 한다. 장축의 길이는 직접적으로 전동기 공급전류의 정상과 역상분의 진폭의 합에 비례하며, 단축의 길이는 두 성분의 진폭의 차에 비례한다.

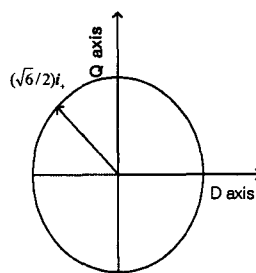


Fig. 1. Current Park's Vector representation for an ideal situation

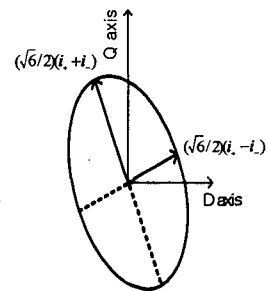


Fig. 2. Current Park's Vector representation for the a motor with a stator asymmetry

Park's Vector 방법을 이용한 고정자 권선 고장검출의 원리는 전동기 전류의 Park's Vector 표

현에 따라 얻어진 그림으로 독특한 패턴을 구별하는 것에 기초하고 있다.

III. 실험 결과와 검토

1. 실험 장치 구성

Fig. 3은 실험 장치의 구성을 나타내고 있다. 실험에 사용된 전동기는 60Hz, 1Hp, 220/380V, 3.8/2.2A, 4극, 36개의 고정자 슬롯, 44개 회전자 슬롯, 3상 농형 유도 전동기이다. 부하로써는 직류 발전기를 사용하였다. Tektronix사의 Current Probe와 증폭기를 사용하였고, LeCroy 9314A 오실로스코프를 이용하여 데이터를 수집하였고, 수집된 3상 전류 데이터는 소프트웨어적으로 400Hz 대역폭의 Butterworth Lowpass Filter를 거친다. 그리고 Park's Vector로 변환된다.

실험 전동기는 최소 2턴에서 최대 68턴까지 턴 단락 고장을 발생시킬 수 있도록 고정자 권선에 인위적인 탭을 가지고 있다.

2. 실험 결과

우선 기준 Park's Vector 패턴을 정하기 위해 정상 무부하의 전동기를 실험하여 Fig.4와 같은 Park's Vector 패턴을 얻었다.

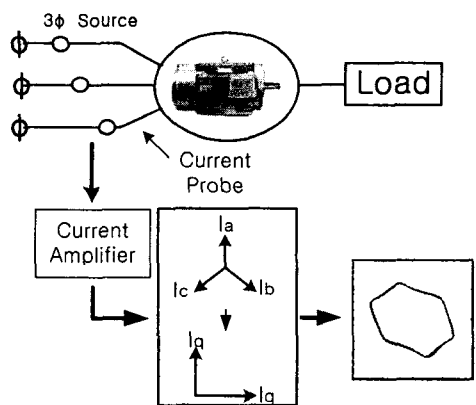


Fig. 3 Fault diagnosis scheme

공급 전압이 정확한 사인파 곡선이 아니기 때문에, Fig.4 (a)의 Park's Vector 패턴은 이상적인 상태에서의 원형 궤적과는 다른 것을 볼 수 있다.

2.1 고장 턴 수 증가에 따른 Park's Vector 패턴 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.

Fig.4 (a)의 기준 Park's Vector 패턴과 비교하여 볼 때 고정자 권선의 단락 턴 수가 증가 할수록 Fig.4 (b) ~ (d)에서 볼 수 있듯이 각 패턴들의 타원율이 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

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

2.2 고장 상의 변화에 따른 Park's Vector 패턴 변화

Park's Vector 패턴과 권선 고장이 발생한 상과의 관계를 알아보기 위해 각각의 상을 무 부하 20턴 단락 고장 상태에서 실험을 하였다.

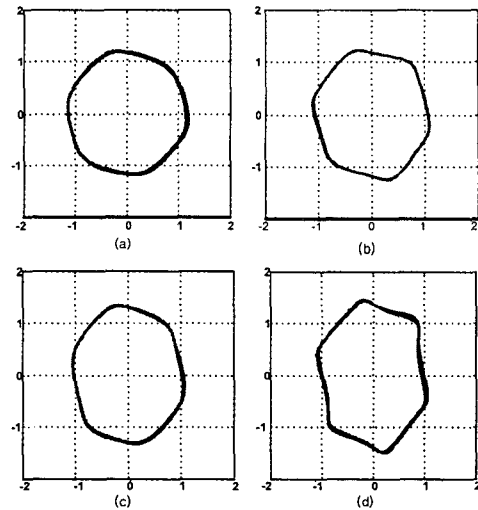


Fig. 4. Current Park's Vector representation (a) normal motor, (b) 2 shorted turn, (c) 10 shorted turn, (d) 20 shorted turn

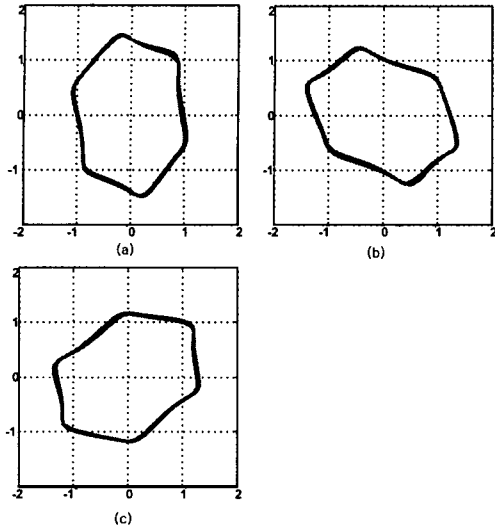


Fig. 5. Current Park's Vector representation with a 20 shorted turn (a) phase A, (b) phase B, (c) phase C

Fig.5에서 볼 수 있듯이, 고장 상은 Park's Vector 패턴들의 방향에 영향을 주어, Park's Vector 패턴이 일정한 방향을 가지고 변하는 것을 볼 수 있다.

2.3 부하 증가에 따른 Park's Vector 패턴 변화

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

Fig.6에서 볼 수 있듯이, 부하가 증가함에 따라 전류의 크기가 증가하여 패턴의 반경은 증가하나, 무 부하 일 때와 비교하여 패턴의 기본 모양은 그대로 유지하고 있는 것을 볼 수 있다.

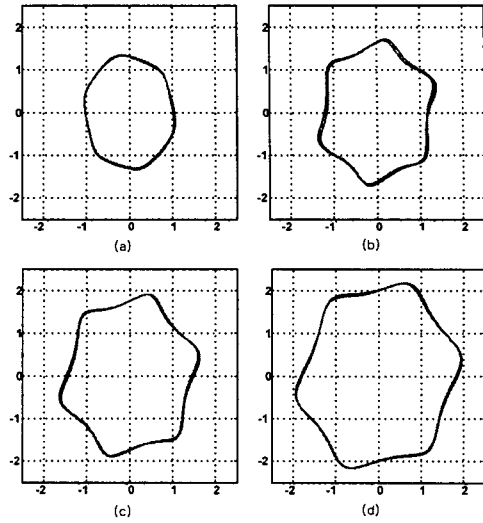


Fig. 9 Current Park's Vector representation with a 10 shorted turn (a) no load condition, (b) 25% load condition, (c) 50% load condition, (d) 100% load condition

IV. 결론

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.

감사의 글

이 논문은 2001년도 순천대학교 공과대학 학술재단 연구비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

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

저자 소개



박규남 (Kyu-Nam Park)

1979년 전남대 전기공학 공학사
 1982년 전남대 전기공학 공학석사
 1996년 전남대 전기공학 공학박사
 1984년 ~ 현재 순천대학교 정보

통신공학부 교수

※ 관심분야 : 제어 시스템 설계, 마이크로 프로세서 응용, 임베디드 시스템



한민관 (Min-Kwan Han)

순천대 전기공학과 공학사.
 2002년~현재 순천대학교 전기공학과 석사 과정

※ 관심분야 : 고장 진단, 퍼지 및 신경 회로망, 제어 시스템 설계



우혁재(Hyeok-jae Woo)

1996, 1998 순천대 전기공학과 학사 석사.
2001~현재 동대학원 박사 과정

※ 관심분야 : 고장진단, 퍼지 및 신경회로망



송명현(Myung-Hyun Song)

고려대 전기공학과 학사 석사 박사.
1988년~현재 순천대학교 전기공학과 교수

※ 관심분야 : 제어 시스템, 퍼지 및 신경회로망, 제어 시스템 설계