

전력변환 시스템의 실시간 스위치 고장진단에 대한 연구

이용식*, 이선우**, 김재현*

순천대학교 정보통신공학부 전기공학전공*, 유진이앤에스**

A Study on the Real-Time Switch Fault Diagnosis of the Power conditioning System

Yong-Sik Lee*, Sun-Woo Lee**, Jae-Hyeon Gim*
Sunchon National University*, YUJIN ENS**

Abstract - This paper presents a diagnosis method for the detection and location of open-short switch faults in the three-phase power conditioning system. A method for switch fault diagnosis on the power conditioning system is proposed, based on the concordia transform. The switch fault types and locations on power conditioning system are diagnosed by a method in which analyze the d-q current vector locus and current pattern. The Simulation results confirm the proposed diagnostic method.

1. 서 론

최근 기후변화 협약과 에너지 자원의 고갈문제가 대두되면서 전 세계적으로 신재생에너지원을 비롯한 분산전원 지원정책과 더불어 에너지 자립화를 증가시키는 추세이며, 신재생에너지의 효율향상을 위한 연구가 선진국을 중심으로 폭넓게 진행되고 있다[1]. 이러한 분산전원 및 신재생에너지 시스템들은 입지조건을 고려하여 최적으로 설치되고 있으며, 일반적으로 전력발생원과 전력변환을 위한 PCS(Power Conditioning System)로 구성된다. 그러나 계통 외란이나 주변 환경영향 및 예기치 못한 운전 등에 의해 시스템적으로 많은 문제와 고장이 발생하고 있는 실정이며, 지속적 전력공급을 위해 PCS의 운전 신뢰성 확보는 매우 중요한 과제중 하나이다. PCS는 전력용 반도체를 이용함에 따라 전원측 고장, 스위칭 소자 고장, 부하측 고장, 센서고장, DC link단 고장 등이 발생한다[2,3]. 특히 전원측의 높은 전압과 큰 전류로 스위칭 소자에 많은 전기적 또는 열적 스트레스를 주며 고주파 스위칭 동작의 의해 스위칭 소자에 과도한 스트레스를 인가함에 따라 다른 부품에 비해 고장 확률이 매우 높다[4].

PCS의 고장검출 및 진단 기법에 관한 기존의 연구는 수학적 모델을 통한 고장진단 방법, 인공지능 기법을 이용한 지식기반 진단방법, 데이터 신호 특성을 분석하여 검출하는 신호처리 진단 방법 등 다양한 방법에 대해 연구되고 있다[5-7]. 이러한 PCS의 스위치 고장은 크게 과전압이나 스트레스로 인한 절점 손상에 의해 발생하는 개방고장과 과전류 및 열화에 의해 발생하는 단락고장으로 구분할 수 있다. 단락고장의 경우 과전류 방지를 위한 별도의 하드웨어를 활용하여 빠른 고장진단 후 운전을 정지하도록 설계하는 것이 일반적이며, 개방고장의 경우 단락고장에 비해 비교적 시스템에 미치는 영향은 적으나 방치할 경우 시스템 전반적으로 2차 고장을 야기할 수 있기 때문에 조기 고장진단 측면에서 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 인버터의 스위칭 동작에 따른 단락고장과 개방고장에 대해 전류 센서의 별도의 추가적인 하드웨어 없이 빠른 감지 특성을 갖는 고장진단 시스템을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 3상 PCS 스위칭 소자의 단락고장과 개방고장에 대해 모의실험을 한 후 각 특성에 대해 분석하였다.

2. 본 론

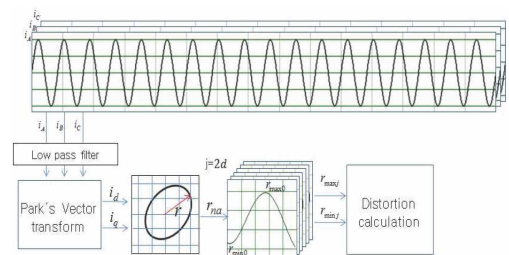
2.1 스위치 고장진단 검출방법

본 논문에서는 동기좌표계를 고정좌표계로 변환하는 Park's Vector Transform 형태의 CT(Concordia Transform)를 이용하여 각 상의 전류를 2차원적 평면 회전 벡터로 표현하여 정상상태와 고장상태를 판별하고, 각 상의 전류와 d-q축 전류를 분석함으로써 여러개의 스위치 고장을 판별하고 그 위치를 분석한다[8].

PCS의 출력 3상 전류(i_a, i_b, i_c)는 식 (1), (2)에 의해 2차원적 고정좌표계 전류(i_d, i_q)로 표현되며, 2차원 회전 벡터의 x 축을 i_d 전류, y 축을 i_q 전류로 하여 상전류의 궤적을 나타냄으로써 고장상태를 분석할 수 있으며, 고장진단 데이터 분석구조는 그림 1과 같다.

$$i_d^s = \frac{2}{3}i_a - \frac{1}{3}(i_b + i_c) \tag{1}$$

$$i_q^s = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_b - i_c) \tag{2}$$

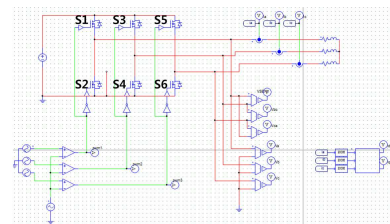


〈그림 1〉 고장진단을 위한 데이터 분석 방법

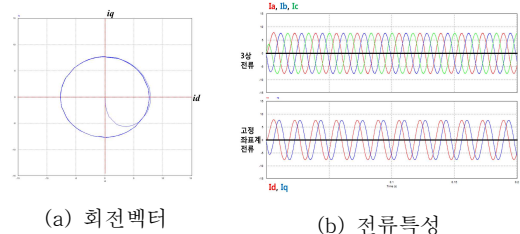
그러나 단순히 2차원적 고정좌표계 전류를 이용한 회전 벡터의 궤적과 사사분면의 위치만 판별해서는 정확한 고장진단에 어려움이 많다. 따라서 본 논문에서는 회전 벡터의 궤적을 분석하고 고장난 스위치의 정확한 위치판별을 위하여 2차원 고정좌표계 전류 및 3상 전류 크기를 분석하여 스위치 고장진단 및 위치를 판별한다.

2.2 모의실험 구성 및 결과

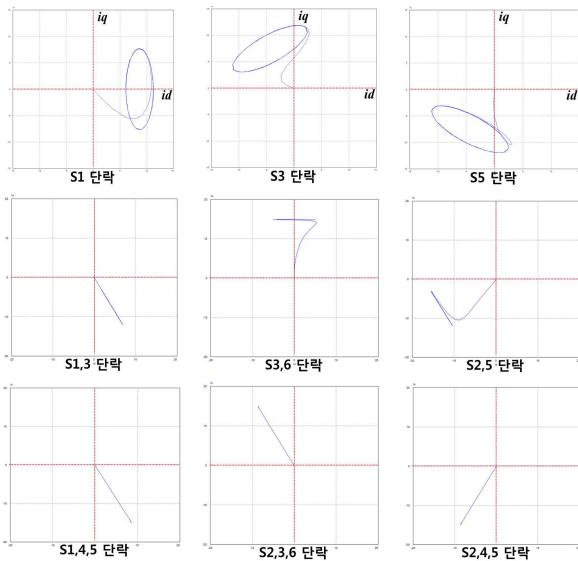
PCS에서 가장 빈번하게 발생하는 스위치 고장에 대한 특성을 분석하기 위하여 전력전자해석 Tool인 PSIM software를 이용하여 그림 2와 같이 3상 PCS를 모델링하고 각 스위치 소자에 대해 개방 및 단락 고장 조건에 대해 검출 특성을 분석하였다. 스위칭 소자 1개, 2개, 3개에 대한 개방-단락고장에 대해 회전벡터 궤적을 분석하고, 데이터 분포비율을 분석하여 유사 데이터에 대해 고정좌표계 및 3상 전류 크기를 분석하여 스위치 고장 위치를 분석하였다.



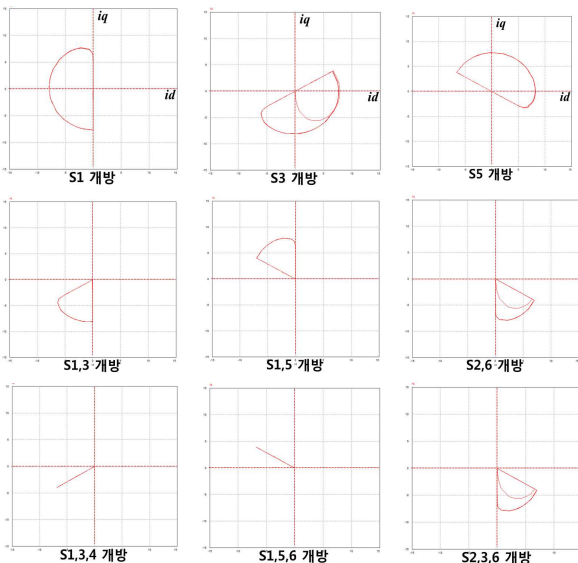
〈그림 2〉 3상 PCS 모델링



〈그림 3〉 스위치 정상상태 특성

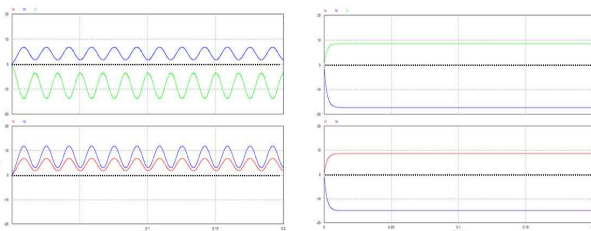


〈그림 4〉 스위칭 소자 단락상태에 대한 회전벡터 특성분석



〈그림 5〉 스위칭 소자 개방상태에 대한 회전벡터 특성분석

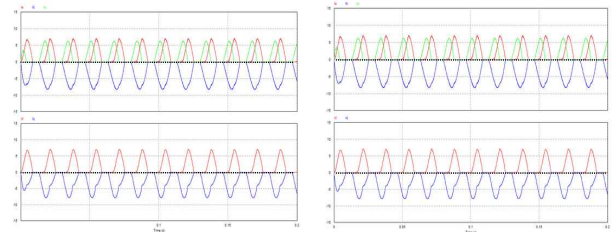
그림 3은 PCS의 스위칭 소자의 정상상태 특성으로 회전벡터와 전류 특성을 나타내며, 스위칭 단락 및 개방시 고정좌표계의 회전벡터 특성의 찌그러짐 및 위치와 전류특성을 분석함으로써 고장판별 및 스위칭 고장 위치를 판별할 수 있다. 그림 4, 5는 PCS의 각 스위칭 단락 및 개방상태의 회전 벡터 동작특성을 나타내며, 단락고장의 경우 스위칭 S1,3 고장과 S1,4,5 고장이 유사한 회전벡터 특성을 나타낸다. 또한 개방고장의 경우 S2,6 고장과 S2,3,6 고장이 매우 유사한 회전벡터 특성을 나타내고 있다. 단락고장 스위칭 S1,3과 S1,4,5의 경우 회전벡터 궤적은 유사하나 그림 6과 같이 각 전류특성을 분석함으로써 고장특성을 판별할 수 있다.



(a) S 1,3 단락상태 (b) S 1,4,5 단락상태

〈그림 6〉 스위칭 단락상태의 각 상전류 및 고정좌표계 전류 특성

그러나 그림 7의 S2,6과 S2,3,6 개방고장 경우는 각 상의 전류 및 고정좌표계 전류 특성이 동일하게 나타나는데, 이는 S2,6의 스위칭 개방으로 인하여 페루프 회로에 대한 전류가 Low side측의 S4 스위칭 방향으로만 흐르기 때문에 S3가 개방고장 되더라도 S2,6과 동일한 특성을 나타내게 된다. 이러한 경우는 주요 스위칭 소자에 대해 우선순위로 고장을 판별하게 된다.



(a) S 2,6 개방상태 (b) S 2,3,6 개방상태

〈그림 7〉 스위칭 개방상태의 각 상전류 및 고정좌표계 전류 특성

3. 결 론

본 논문은 태양광발전시스템의 고장예측 및 진단시스템 개발의 일환으로 PCS의 스위칭 고장판별 및 위치분석을 위해 모의실험을 실시하였다. 제한한 시스템은 추가적인 하드웨어 없이 출력측 전류센서만을 이용한 다수의 스위칭 고장형태 및 위치를 분석할 수 있으며, 일반적으로 전동기 고장진단에 활용되고 있는 동기좌표계를 고정좌표계로 변환하는 Park's Vector Transform을 활용한 CT기법에 의해 2차원적 회전벡터의 형태와 전류특성을 분석함으로써 고장유형과 스위칭 고장위치를 분석할 수 있었다. 제한한 방법을 기반으로 STM32F407Z ARM프로세서를 활용하여 전력변환기기의 고장진단 시스템을 개발 중에 있으며, 각 상의 전류와 2차원 전류 데이터의 분포비율을 이용하여 개발할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발 사업(No. C0236251)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.C. Martins, R. Demonti, I. Barbi, "Usage of the Solar Energy from the photovoltaic panels for the Generation of Electrical Energy", INTELEC'99, pp 17-3.
- [2] Guan, Y., Sun, D., He, Y., "Mean Current Vector Based Online Real-Time Fault Diagnosis for Voltage Source Inverter fed Induction Motor Drives", IEEE International Electric Machines & Drives Conference, Vol. 2, pp. 1114-1118, 2007.
- [3] Ye, Z., Wu, B., "Simulation of Electrical Fault of Three Phase Induction Motor Drive System", IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp.75-80, 2001.
- [4] D.K. Kastha, B.K. Bose, "Investigation of Fault Modes of Voltage-Fed Inverter System for Induction Motor Drive", IEEE Trans. On Industrial Applications, Vol. 30, No. 4, 1994,
- [5] J. Klima, "Analytical investigation of an induction motor drive under inverter fault mode operation", IEE proc. Electric Power Application, Vol. 150, No. 3, pp. 255-262, 2003.
- [6] R. Peugeot, S. Courtine, J.P. Rognon, "Fault detection and isolation on a pwm inverter by knowledge-based model" IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 6, pp. 1318-1326, 1998.
- [7] H. Nejari, M.E.H. Benbouzid, "Monitoring and diagnosis of induction motors electrical faults using a current Park's vector pattern learning approach", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 36, No. 3, pp. 730-735, 2000.
- [8] I.Y. Onel, M.E.H. Benbouzid, "Induction Motor Bearing Failure Detection and Diagnosis: Park and Concordia Transform Approaches Comparative Study", IEEE Trans. on Mechatronics, Vol. 13, No. 2, pp. 257-262, 2008.