전류패턴을 이용한 스파스 매트릭스 컨버터의 개방사고 진단

이은실, 이교범
아주대학교

Open-Fault Detection of a Sparse Matrix Converter using Current Patterns

Eunsil Lee and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문은 스파스 매트릭스 컨버터(Sparse matrix converter)의 단일 스위치 또는 두 개의 스위치의 개방 사고에 대한 진단 방법을 제안한다. 스파스 매트릭스 컨버터는 단방향 전력용 스위치의 개수를 줄이면서 기존의 매트릭스 컨버터와 동일한 성능을 갖는 새로운 토폴로지이다. 제안된 기법은 입력과 출력의 전류를 이용하여 만든 패턴을 비교하여 고장 진단뿐 아니라 고장 난 스위치의 위치까지 식별할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 기법의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

매트릭스 컨버터는 전력용 반도체 스위치를 이용하여 입력 전원이 출력 부하에 에너지 저장소자 없이 직접 연결되어 가변 전압, 가변 주파수의 출력을 합성한다[1]. 매트릭스 컨버터는 직류단에 요구되는 전해 커패시터를 제거함으로써 컨버터의 크기를 작게 하고 수명을 연장하며 에너지 회생 및 역률제어가 가능하나, 낮은 전압 전달율과 신뢰성 확보 등이 극복되어야 할 난제이다.

매트릭스 컨버터는 크게 직접 매트릭스 컨버터와 간접 매트릭스 컨버터로 분류할 수 있다[2]. 직접 매트릭스 컨버터는 9개의 양방향 전력용 반도체 스위치를 사용하여 행렬(matrix) 형태로 연결한 구조이고, 간접 매트릭스 컨버터는 기존의 교류 직류 교류 간접 전력변환 장치의 구조에서 직류단의 에너지 저장 소자를 제거한 형태이다. 이러한 간접 매트릭스 컨버터의 토폴로지에서 스위치의 개수를 줄이고 동일한 성능을 갖는 새로운 형태의 스파스 매트릭스 컨버터 구조를 구현할 수 있다[3].

매트릭스 컨버터에 사용되는 많은 스위치들의 고장진단은 최근에야 주목받고 있다[4] [6]. 본 논문에서는 스파스 매트릭스 컨버터의 스위치 개방사고의 고장진단 기법을 제안한다. 제안한 기법은 입력 전류와 출력 전류의 측정된 값을 이용하여 만들어진 패턴을 통해 진단할 수 있으며 복잡한 계산식이 필요하지 않은 장점이 있다.

2. 스파스 매트릭스 컨버터의 고장진단

2.1 스파스 매트릭스 컨버터의 고장

기존의 매트릭스 컨버터에서 스위치의 개수를 줄인 스파스

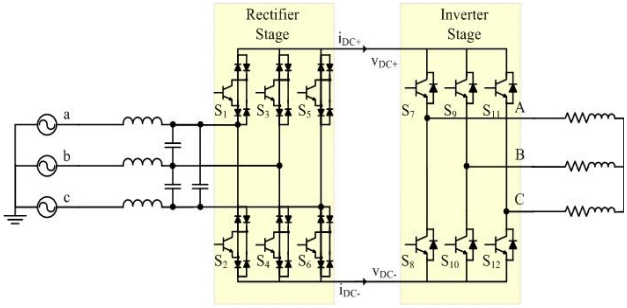

그림 1 스파스 매트릭스 컨버터의 구조.
Fig. 1 Schematic for the sparse matrix converter.

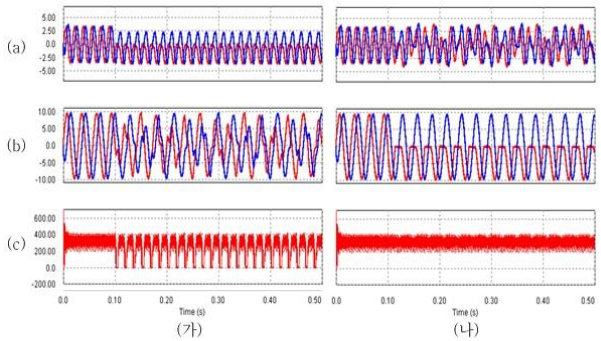

그림 2 0.1초에서 스파스 매트릭스 컨버터의 스위치 개방 사고. (가) 스위치 S_7 고장, (나) 스위치 S_1 고장, (a) 입력 전류, (b) 출력 전류, (c) 직류단 전압,
Fig. 2 Waveforms of the sparse matrix converter with the open-circuit fault of S_7 and S_1 introduced at t=0.1s. (a) 3-phase input currents, (b) 3-phase output currents, and (c) the voltage across the dc-link.

매트릭스 컨버터는 그림 1과 같이 12개의 단방향 전력 스위치와 30개의 다이오드로 구성된다[3]. 스파스 매트릭스 컨버터는 가상의 직류단 전압을 만드는 정류단과 일반적인 인버터 기능을 가진 인버터단으로 나눌 수 있다. 정류단에서 한 개의 스위치와 4개의 다이오드로 구성된 조합은 양방향 스위치처럼 동작한다. 인버터단은 기존의 인버터와 같은 동작을 한다.

개방사고가 발생하면 출력 전류와 입력 전류, 그리고 직류단 전압이 왜곡됨을 볼 수 있다. 이러한 왜곡은 시스템에 좋지 않은 영향을 끼칠 수 있으므로 즉각적인 발견이 중요하다.

그림 2는 스파스 매트릭스 컨버터의 스위치 개방사고가 일어나기 전과 후의 전류와 직류단 전압의 파형이다.

2.2 제안하는 개방사고 고장진단

입력과 출력의 3상 전류의 측정을 기반으로 스파스 매트릭스 컨버터의 스위치 고장상황을 파악할 수 있다. 측정된 3상의 전류(i_A, i_B, i_C)는 다음 식(1)을 통해 고정좌표계 d q축으로 나타낸다.

$$I_d = (2i_a - i_b - i_c)/3 \qquad (1)$$
$$I_q = (i_b - i_c)/\sqrt{3}$$

변형된 식을 이용하여 각 상황에서의 출력 전류 파형을 나타내면 그림 3의 좌측과 같고 입력 전류의 경우는 그림 3의 우측과 같다.

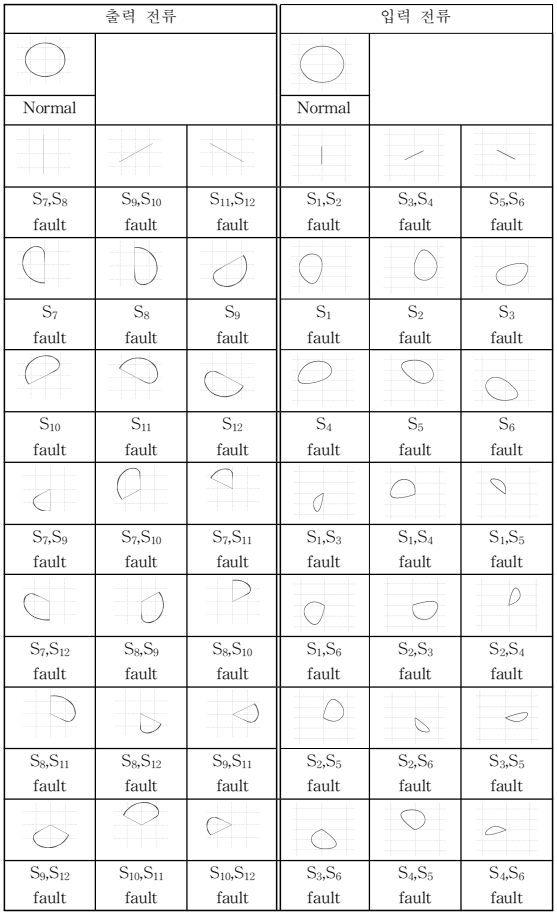

그림 3 개방 사고 시 출력과 입력 전류 패턴
Fig. 3 The patterns of output currents and input currents in normal and open-circuit fault.

전류의 패턴을 이용한 고장진단 과정은 다음과 같다.

1). 패턴의 넓이 : 개방 사고가 일어나기 전에 원으로 나타나던 파형은 개방사고가 일어난 후 크기가 확연히 줄어든다. 스위치 한 개가 고장 난 경우 반원의 크기가 되며, 같은 상의 스위치가 두 개 고장 난 경우에는 직선 모양이 된다. 서로 다른 상의 두 개 스위치 고장일 경우에는 반원보다 더 작은 부채꼴 모양이 된다. 따라서 패턴의 넓이를 통해 스위치 개방사고의 여부를 판단할 수 있다.

2). 직류단 전압 : 정류단에서 스위치 개방사고가 일어나면 직류단에 큰 영향을 주지만 인버터단에서 스위치 개방사고가 일어나면 앞의 직류단에 큰 영향을 주지 않으므로 직류의 전압을 통해 고장 난 스위치가 정류단의 스위치인지 인버터단의 스위치인지 파악할 수 있다.

3). 패턴의 각도

다음의 식은 고장 난 스위치의 위치 판별을 위한 각도이다. 여기서 θ_n은 패턴의 원점과 중심값의 각도이다. 중앙값은 각 d q축으로 변형된 전류의 중간값이다.

$$\theta_n = \tan^{-1}(I_{q-mid}/I_{d-mid}) \qquad (2)$$

고장 난 스위치의 위치에 따라 각도가 다르게 나타나므로 쉽게 고장진단을 할 수 있다.

위의 과정을 통해 스위치의 개방사고를 판단할 수 있고 또한 고장 난 스위치의 위치도 쉽고 빠르게 판별할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 스파스 매트릭스 컨버터에서 일어날 수 있는 개방 사고 상황에서 고장진단 기법을 적용하여 쉽고 빠르게 고장을 진단 할 수 있다. 제안된 기법을 통해 각 상의 전류를 기반으로 만들어진 패턴들을 비교하여 고장 진단 및 고장 난 스위치의 위치를 알 수 있다. 따라서 시스템의 유지 및 보수비용을 줄일 수 있다. 시뮬레이션을 통해 이 기법의 타당성을 검증하였다.

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20110003862).

참 고 문 헌

[1] P. W. Wheeler, J. Rodriguez, J. C. Clare, L. Empringham, and A. Weinstein, “Matrix Converter : A Technology Review,” *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 49, pp. 276 288, 2002

[2] J. W. Kolar, T. Friedli, F. Krismer, and S. D. Round, “The Essence of Three phase AC/AC Converter Systems,” in Proc. *EPE_PEMC 2008*, pp. 27 42, Sep. 2008.

[3] J. W. Kolar, F. Schafmeister, S. D. Round, and H. Ertl “Novel Three Phase AC AC Sparse Matrix Converters,” *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 22, no. 5, pp. 1649 1661, Sep. 2007.

[4] S. Kwak and H. A. Toliyat, “An Approach to Fault Tolerant Three Phase Matrix Converter Drives,” *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 22, pp. 855 863, 2007.

[5] S. M. A. Cruz, M. Ferreira, and A. J. M. Cardoso, “A New Method for the Detection and Location of Faults in Matrix Converters,” *IEEE IEMDC'09*, pp. 165 170, 2009.

[6] 손대일, 이은실, 박기우, 이교범, 정규범, “간접 매트릭스 컨버터의 개방사고 고장진단,” *전력전자학회 추계학술대회 논문집*, pp. 200 201, 2010.